雙月刊

核能簡訊

NUCLEAR NEWSLETTER

NO. 175
2018 DECEMBER

從藻礁到黑面琵鷺

比利時用過核燃料中期貯存設施與策略

日本推動輻射教育的作法

美國牡蠣溪核電廠在運轉四十九年後將除役

法國協助日本福島開發高放玻璃固化技術

西班牙將在二〇三〇年前逐步淘汰核能與燃煤發電



核能簡訊 NUCLEAR NEWSLETTER
NO. 175
2018.12 雙月刊

編者的話

我國政府官員在「2018 年臺灣國際智慧能源週、臺灣國際循環經濟展聯合開幕典禮」中談及，在中央地方共同的努力下，現在太陽光電已經是臺灣成長最快的能源之一；而且臺灣有全世界公認最好的風場及離岸風電開發環境，未來透過環保與科技結合，臺灣將走向循環經濟的時代，並期盼全世界一起來投資綠能、環保的臺灣。但在綠電發展的過程，除了必須克服發電技術的能力提升和穩定供電的配套措施，還得面臨生態保護的挑戰。「從藻礁到黑面琵鷺」一文中，將帶著讀者了解風力發電與太陽能發電將如何影響我們的生態環境，且對動植物帶來怎樣的生存威脅。然而，11 月 24 日舉行的全民公投結果顯示，有將近 590 萬人同意廢除「2025 非核家園」條例，贊成「以核養綠」，接下來，就要看政府如何以具體的作法回應這廣大的民意。

福島事故時隔多年，發生事故的日本，與鄰近日本的臺灣，國民教育作法卻大不相同。臺灣因對事故的恐懼而決定放棄核電，日本卻更積極的去教育他們的孩子，絕對不能人云亦云，而是需要學習如何判斷資訊的可靠性，如何透過原理、知識去判別龐大又紛亂的訊息，然後培養自己思考的能力。日本的教育並不直接告訴孩子，什麼是好的，什麼是不好的；但透過實驗與學習的設施，讓孩子理解「什麼是輻射」，不要因為不懂而產生恐懼；且在教科書編列的指導綱領裡，希望孩子學習「實現無差別與無偏見的社會」，這是非常不容易的公民能力養成。日本作家神津 KANNA 女士認為，我們從印象或是媒體獲得的資訊和現實是不同的，最重要的是「正確的知道」。若要「正確的知道」就必須透過知識的學習，培養資訊辨別與獨立思考的能力。

土壤貧瘠且缺水的辛巴威，在聯合國糧農組織與國際原子能總署聯合技術合作處的協助下，利用中子探針和氮 15 穩定同位素示蹤劑，測量土壤表面以下的水量，及追蹤使用氮肥的路徑，以確定植物的根是否吸收了氮肥，幫助當地學校克服惡劣氣候與土壤貧瘠問題，以最節約資源的方式建立農地。該國農民也種植由輻射照射所改良的豇豆，以增加收成產量，豇豆不僅為當地家庭提供富含蛋白質與維生素等營養，出售所得的現金更幫助支付孩子的學費；豇豆葉子還可以用作牲畜的飼料。讓人聞之色變的輻射，在科學應用領域的發展，卻大大的幫助了落後國家居民的生活。

目 錄

出版單位：財團法人核能資訊中心
地　　址：新竹市光復路二段一〇一號
電　　話：（03）571-1808
傳　　真：（03）572-5461
網　　址：http://www.nicenter.org.tw
電子郵件：nicenter@nicenter.org.tw
發 行 人：朱鐵吉
編輯委員：李四海、汪曉康、陳條宗、郭瓊文、劉仁賢、謝牧謙（依筆畫順序）

主　　編：朱鐵吉
文　　編：鍾玉娟、翁明琪、林庭安
執　　編：長榮國際　文化事業本部
設計排版：長榮國際　文化事業本部
地　　址：台北市民生東路二段 166 號 6 樓
電　　話：02-2500-1175
製版印刷：長榮國際股份有限公司　印刷廠
行政院原子能委員會敬贈　廣告
台灣電力公司核能後端營運處敬贈　廣告


每到退潮時刻，各種生物從桃園海岸線邊的藻礁中鑽出（圖片來源：fun 假趣哪玩）

從藻礁到黑面琵鷺

文 編輯室

為了推動能源架構轉型，行政院規劃2025年我國再生能源占比要達到20%的目標，由於時程緊迫，因此大舉開發、建設各種再生能源發電設施。在過程中，屢屢因為設置發電設施的環境影響評估具有高度敏感性，導致能源開發與環境保護發生衝突而引起各界爭議。能源開發與環境保護，究竟孰輕孰重？

藻礁 10 年只長 1 公分

最近生態保護界最熱門的話題就是「藻礁」了，藻礁究竟是什麼？很稀有嗎？在我們的生存環境中具有何種角色？桃園觀音海岸有一段已經累積數千年的珍貴藻礁地形，究竟所謂的藻礁是如何形成的？在生態和學術領域上有哪些重要性？

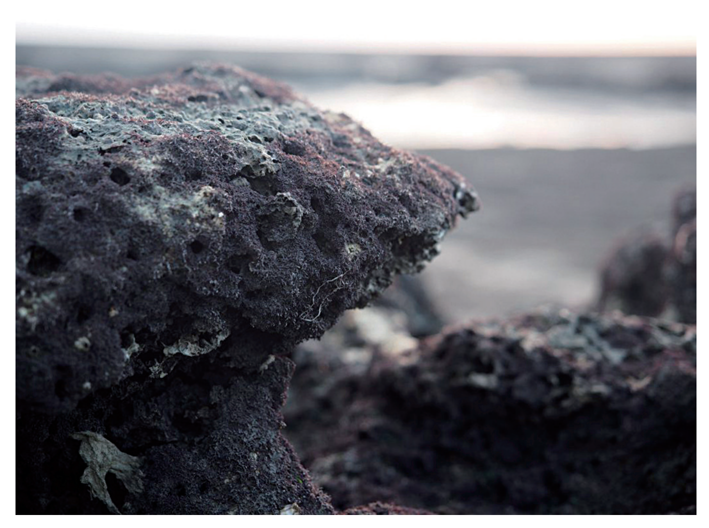
根據農委會特有生物研究保育中心的網頁說明，藻礁為石灰藻 (calcareous algae) 經由鈣化作用沉積碳酸鈣，當石灰藻死後留下此一底質，又為後來者所利用，週而復始慢慢地沉積成礁體，可說是地球環境變遷所遺留下來的「天然紀念物」。在台灣，即使是相關領域的生態學者，對藻礁生態仍不甚明瞭，一般人就更為陌生了，對於藻礁生態系的功能與重要性，也就很容易被忽視。

其實珊瑚礁和藻礁都是生物造礁，最大的差別是在珊瑚礁是「動物」造礁，而藻礁是「植物」造礁。同在海岸多孔隙環境生長，珊瑚礁占據水質佳，水溫高的地方，藻礁卻能在較惡劣的環境裡自成一片，和珊瑚礁媲美。

台灣西海岸屬於沙質海岸，然而在桃園縣卻有一帶長約 27 公里的海岸，間雜著面積不等的藻礁地形，有些礁體高度可達 1-2 公尺，在這片藻礁的北邊、南邊及東側都是沙質海岸，可說是西海岸的唯一。特別的是，桃園的藻礁至少存活了數千年之久，已鑑定的標本即有 2,000 年以上。

桃園市府農業局委託台灣溼地學會研究至今，共發現 10 類大型藻類、129 種動物，其中大潭電廠附近具有最高的物種豐富度。不過現階段可能仍低估了藻礁生物的多樣性，有許多物種尚待發現。若與其他沿岸棲地物種與密度比較，藻礁物種與其他棲地有很大差異，說明藻礁生態系的獨特性。觀新藻礁的動物密度為高美濕地的 5 倍，香山濕地的 8 倍，尤其是觀新藻礁的環節動物與節肢動物的數量特別豐富，亟需就地進行保育。

但是，由於許多大型的開發包括港口的闢建，工業區廢排水或開挖工程造成沉積物實在太多，這些藻類因而死亡。目前許多段海岸由於早期大面積的開發下，甚至沒有殘存任何的蛛絲馬跡可供查證，所以觀音這一片藻礁可說是在許多開發案後倖存下來的，也



桃園沿岸藻礁以無節珊瑚藻類 (紅藻門) 為主，經鈣化作用沉積碳酸鈣形成了瑰麗的紫紅色礁體。(圖片來源 : fun 假趣哪玩)



台灣西海岸的中華白海豚僅餘六七十隻。(圖片來源:中華鯨豚協會 攝影 / 姚秋如)

是目前全台面積最大的。

藻礁與天然氣發電

非核減碳，是台灣未來的能源方向，天然氣在能源轉型中扮演著橋接的重要角色，政府預計 2025 年將有 50% 的電力來自天然氣。

能源局表示，到 2025 年要達到 50% 天然氣發電比例，目前的輸儲設施仍然不足。因此，中油預計在大潭海岸打造 300 萬噸容量的第三天然氣接收站，以供氣給大潭電廠，計畫包含填海造陸 77.2 公頃，以及興建北堤 4,280 公尺、南堤 800 公尺的觀塘工業港。

預定地的其中一區，就位在 1999 年通過環評的觀塘工業區，而觀塘工業港的環評也早在 2000 年時通過，不過開發計畫最後因為財務問題暫停。如今事隔多年，必須重新進行環境差異分析。

中油依據調查及專業評估的結果，回應民眾對大潭藻礁的生態、缺不缺電和替代方案等的質疑；第三接收站為供應台電大潭電廠新增燃氣機組 2023 年起用氣的需求，以確保北部電力的穩定供應，至於替代方案的部分，有環評委員及環團提出，包括台北港、林口港及台中港異地方案的建議，中油已依據專業逐一評估，異地方案雖然工程技術可行，但建站期程卻相對很長，時程上都緩不濟急。

中油表示，基於環境及生態保護並回應環團訴求，提出修正替代方案，經成大水工所、專業顧問公司等單位專業評估，對現有藻礁生態系影響輕微，且因為建港後的遮蔽效果，不易被淤砂掩埋，有助於維持藻礁生態系。另參照中油高雄永安接收站經驗，建港可以讓海洋生態更為豐富。

中油為配合政府穩定電力供應及兼顧減碳

排放能源政策，穩定供應國內潔淨能源，經評估在觀塘工業區港建第三接收站是目前唯一可行的方案。

瀕臨絕種的中華白海豚

從藻礁的處境不禁讓人聯想到中華白海豚。

中華白海豚又稱印度太平洋駝背豚，台灣俗稱為「媽祖魚」。主要生活在熱帶及溫帶沿岸水域，剛出生的中華白海豚是呈白色，年輕的會呈灰色，成年的則會呈粉紅色。很多的海豚或是鯨魚都住在深水處，但中華白海豚則喜歡住在淺水地區如香港沿海一帶。

而台灣的白海豚大約分布在苗栗縣龍鳳漁港，到台南北邊將軍港之間，生活在水深 30 公尺、距離岸邊 6 公里以內的沿海水域。因為十分靠近人類活動的區域，而面臨棲地消失、水下噪音、淡水流量減少以及污染，更遭到漁業誤捕的生存威脅。

白海豚被台灣漁民稱為「媽祖魚」，因為牠們一年四季住在中部沿海，但只要一到農曆 3 月媽祖生日、東北季風減弱後，能見度大幅提升，好像來為媽祖祝壽；也有傳說是曾經有漁船遇難，在白海豚引領下安全回航。這些活動於東台灣海峽的白海豚，因背鰭斑點比身體多等特徵，明顯區分而被鑑定為有別於中國沿海白海豚的獨立族群。

台灣西岸海域的白海豚族群，在 2008 年時列入「極度危險」，已被聯合國鯨豚專家



剛出生的中華白海豚是呈白色，年輕的會呈灰色，至於成年的則會呈粉紅色。(圖片來源：維基百科)

列為瀕危物種紅皮書最高保育等級的「極危」等級，僅次於「絕種」。2010 年台灣的白海豚數量估計只剩不到 100 隻，在政府興建八輕計畫之下，處境堪憂。學術團隊指出，雲林六輕附近海域水質酸化、船隻噪音等問題，都會危及白海豚生存。中央研究院生物多樣性研究中心、台灣蠻野心足生態協會和台灣媽祖魚保育聯盟，曾邀請國際鯨豚保育學者舉辦研討會發表相關研究，呼籲政府將白海豚棲息地劃定為海洋保育區，制訂強制禁止在白海豚棲地內使用三層網、刺網和拖網等漁業規範，讓白海豚和漁業真正能夠永續共存。

2018 年 5 月 8 日，美國國家海洋暨大氣總署（NOAA）針對台灣特有的白海豚，發表了最終裁定，正式將台灣白海豚列入《瀕危物種法（Endangered Species Act）》中的「瀕危物種」，並進行保育。

白海豚與風力發電

中央研究院資訊科技創新研究中心博士後研究學者林子皓表示，國際上越來越重視離岸風機對海洋哺乳類動物的影響，最嚴重的可能會導致鯨豚聽力損傷，也會干擾牠們的行為，讓牠們不喜歡生活的棲地而被迫拋棄。其次是遮蓋效應影響鯨豚之間回聲定位的溝通、繁殖和獵食，長期噪音對於生理、免疫也有負面的影響。

台灣第一座在苗栗竹南的離岸示範風場，於 2017 年 2 月併聯發電，正式將台灣的風力發電從陸地推向海洋，台灣海峽千架風機的綠能夢想，是否會變成海洋生態的惡夢？

經濟部表示，我國能源高度依賴進口且電力無法由國外支援，能源安全所面臨困境與挑戰遠大於其他國家。為加強能源供應安全，提高自主能源占比，將積極推動我國風電發展，規劃以「先示範、次潛力、後區塊」三階段穩健發展策略，逐步推動離岸風電設置，期於 2025 年達成離岸風電累計設置 300 萬瓩的推動目標，實現再生能源發電占 20% 的目標及非核家園願景。

在規劃階段，經濟部能源局於 2015 年 7 月公告「離岸風力發電規劃場址申請作業要點」及 36 處潛力場址，已先行避開已知、應予保護、禁止或限制建築地區，也已包含行政院農業委員會 2014 年預告「中華白海豚野生動物重要棲息環境之類別及範圍」，以避免造成生態環境敏感區域受到開發。

針對離岸風電政策環評部分，經濟部已於 2015 年 12 月 30 日向環保署提出離岸風電政策環評，並經環保署環境影響評估審查委員會於 2016 年 12 月 28 日決議，針對中華白海豚重要棲息環境部分，進一步將緩衝帶擴增至 1,000 公尺，並針對中華白海豚保育提出施工期間遵循相關規範，以避免或減輕對白海豚的影響，並優先採行已商業化的最佳噪音防制工法。而個別風場則需辦理個案環評，提出更具體減緩措施，於離岸風場開發規劃階段避免或減輕對白海豚的影響。

至於風場施工階段，為能建立本土化環境影響監測參考依據，經濟部已與科技部於 2017 年起跨部會合作，進行「離岸風場區塊開發海域環境建構計畫」，展開全面性海

洋生態環境的背景調查，主要針對鯨豚、鳥類、底棲生物及漁業資源，委託學術單位及保育團體共同參與執行，以建立本土生態觀測資料庫。同時為有效落實風場關鍵生態議題的保育對策，經濟部已展開「離岸風場海洋生態實證計畫」作業，將透過我國示範風場實證與公眾討論過程，訂定本土化風場生態調查與監測作業的規範，以及減輕環境影響的實務管理措施，作為後續各風場執行依據，同時將建立長期監督管理機制，優先培訓與聘僱在地漁民與青年參與。

最後，在風場營運階段，經濟部將規劃透過風場生態監督、漁港運維碼頭建設、風場觀光與箱網養殖等推動，與開發業者合作，大量培訓在地就業人才；同時透過離岸風電回饋金投入海洋生態與永續漁業長期研究工作，使風場、漁業與海洋生態可以共榮。

吸引全球目光的嬌客 – 黑面琵鷺

黑面琵鷺已屬全球瀕危物種類別之一，現時只活躍於東亞及東南亞地區，因此當黑面琵鷺南下過冬時，東南亞地區的觀鳥者會到處觀測其過冬狀況，並統計數量。黑面琵鷺可說是台灣地區民眾最熟悉的候鳥，每年 1 月至 3 月都會飛來台灣避寒，與鳥友們已經



於日本福岡覓食的黑面琵鷺 (圖片來源 : 維基百科)



黑面琵鷺夏羽(繁殖羽)(圖片來源:維基百科)

建立起深厚的情感，暱稱之為「黑琵」。

黑面琵鷺於中國、澳門、香港、台灣、日本、越南、泰國等地過冬，其中台灣是全球最大過冬區，占全世界黑面琵鷺數量 61 %左右（2009 年統計資料），而台南地區原以曾文溪口總數占台灣的 9 成，促使當地設有台江國家公園等保護區。近年學甲區農會所設立的「學甲溼地生態園區」，於 2011 年首度發現黑面琵鷺蹤影，該年度最高紀錄曾出現將近 200 隻成鳥。

根據中華鳥會調查，台灣西南沿海濕地是黑面琵鷺過冬最重要的棲地，也是全球最重要的棲地，比例占全台 98.8%。然而，近來有媒體報導，嘉義縣布袋鎮廢鹽灘已出現大量黑面琵鷺族群，鳥友卻發現濕地生態遭到怪手破壞，於是在網路上發文，表示對台灣生態保護的觀念感到失望、悲觀。

愛鳥人士表示，嘉義地區的廢鹽灘因水流水位及底棲生物豐富，成為黑面琵鷺重要棲地，黑面琵鷺成群在各區廢鹽灘移動覓食，如果設置大規模太陽光電，會造成大面積棲地喪失，光環境變動則會改變濕地生態功能，鳥類將無處可去。

黑面琵鷺與太陽光電

據瞭解，近日在鹽灘地出現的挖土機整地，是經濟部能源局第一個太陽光電專區嘉義縣鹽灘地標案，廠商標得 2 區共 102 頃，總發電量 7 萬瓩。對於黑面琵鷺棲地遭受破壞一說，能源局解釋，當初與農委會及鳥會

溝通，放棄第七區黑面琵鷺主要棲地設置太陽光電，電板反光並不會影響黑面琵鷺的活動，也會採取保育防護措施。

能源局表示，於招標遴選文件中已要求施工、運轉、維護各階段須以友善生態工法施作，如設計鳥踏讓鳥類棲息及設置緩衝綠帶等，且業者需於施工期間對基地內進行生態環境現況持續調查與分析，並定期對外揭露資訊，即時掌握開發對生態環境的影響。

能源局指出，中央推動綠能已有完整規劃路徑，2025 年太陽光電規劃 2,000 萬瓩，其中屋頂型 300 萬瓩；地面型 1,700 萬瓩。其中地面型開發設置太陽光電，優先利用嚴重地層下陷不利農業經營地區、水域空間、已封閉掩埋場及各部會閒置土地來推動設置，以降低對生態環境的影響，並朝土地複合式應用為目標。

以鹽業用地為例，目前絕大多數土地已不再被作為製鹽使用，為延續老祖先們驗證的最佳日照場域，以兼顧生態、環保與景觀等作法，不僅活化可利用土地、提升鹽業用地使用效益，並增加國家自主能源供給。

經濟部強調，推動鹽業用地設置太陽光電，已排除重要濕地及高爭議生態棲息地，並透過在地民眾及相關環保專家充分溝通蒐集意見，並要求業者施工時以友善生態工法進行，並定期監測與揭露資訊，以兼顧生態保育，打造綠能低碳環境，邁向永續陽光家園。

結語

人類是地球萬物的大管家，負有重任讓所有物種生生不息，如何在維繫人類生活的必要條件下，發揮天賦智慧，與萬物共存共榮，確保生物多樣化，兼顧環境生態與能源需求。不要讓藻礁、白海豚和黑面琵鷺，以及其他珍貴的物種，成為我們能源開發與使用的犧牲品！

參考資料：
1. 特有生物研究保育中心
https://tesri.tesri.gov.tw/view.php?catid=1312
2. 桃園市政府農業局
https://algal-reef.tycg.gov.tw/
3. 公共電視
https://www.pts.org.tw/ourisland_AlgaeReefs/
4. 我們的島
http://ourisland.pts.org.tw/content/ 當白海豚遇上風機
5. ETtoday 新聞雲
https://www.ettoday.net/news/20181016/1282512.htm
6. 經濟部「真相說明」
https://www.moea.gov.tw/MNS/populace/news/News.aspx?kind=9&menu_id=22333&news_id=75661
https://www.moea.gov.tw/MNS/populace/news/News.aspx?kind=9&menu_id=22333&news_id=81058
https://www.moea.gov.tw/MNS/populace/news/News.aspx?kind=9&menu_id=22333&news_id=81213


比利時境內的多爾(Doel)核電廠

比利時用過核燃料 中期貯存設施與策略

文 洪國鈞

比利時境內有2座核電廠，分別為多爾（Doel）與蒂昂日（Tihange）總共7座壓水式反應爐（與我國核三廠同型）。該國早期核能後端策略，是採用回收用過核燃料再處理製成混合氧化物（MOX）燃料繼續使用，但自1990年代起，因經濟成本與抑制核武擴散等考量，其策略修正為先行貯存，等未來科技進展再決定直接處置或是回歸到再處理的方向。

因比利時早期後端策略為再處理用過核燃料，表1為比利時各機組用過燃料池的容量。

表 1. 比利時各機組用過燃料池的容量

機組	用過燃料池容量
蒂昂日 1	324 束
蒂昂日 2	718 束
蒂昂日 3	832 束
多爾 1/2*	649 束
多爾 3	671 束
多爾 4	770 束

* 多爾 1/2 號機為雙生機組 (Twin Units)，2 部機共用 1 座用過燃料池。

由上表可知，比利時核電廠用過燃料池容量嚴重不足，以往用過核燃料自爐心退出後，約在用過燃料池冷卻 2 至 5 年就會移出進行再處理、回收重製為 MOX 燃料。但當後端策略改為暫時貯存後，其貯存空間便嚴重不足，因此，有必要發展用過核燃料的中期貯存方法。比利時依據其電廠特性，採行濕式貯存（蒂昂日）與乾式貯存（多爾）兩種方式並存，比利時所依循的法規是採用美國聯邦法規 10CFR72 的相關規定。

濕式貯存

濕式貯存是將用過核燃料貯存在水池內，以水為流體，透過電力或馬達驅動冷卻水，以強制性而非自然對流的方式提供冷卻，以移除用過核燃料當中，因核分裂產生的放射性物質，因為衰變所累積的衰變熱，此為「濕式貯存」。

濕式貯存通常是針對剛退出反應爐數天至數年，用過核燃料具有較高的衰變熱，須採用水池冷卻，且需耗用電力以確保冷卻水循環。由於這種冷卻方式須配備幫浦、熱交換器；為了淨化池水，還須配備淨化系統，故平時需有常備人員進行運轉、維護，日常成本較乾式貯存為高。然而相對於乾式貯存的好處，是用過核燃料未來的移動、修理、檢查、運送或是核子保防稽查都較為簡易，且室內維持負壓力，可確保放射性物質不會外釋至大氣環境中。另燃料護套因水冷卻表面溫度，可長期保持在攝氏 90 度以下，而確保燃料護套的可靠度。

比利時應用濕式貯存的情況

蒂昂日電廠興建之初，因不考慮長期貯存用過核燃料，因此燃料池空間容量不足，導致該廠無法立即採用乾式貯存。由於燃料內部的衰變熱仍高，若立即裝入乾式貯存箱內，其燃料護套表面溫度將可能超過攝氏 400 度以上，以致燃料護套劣化，使護套內的分裂產物外釋，造成放射性的污染。為使燃料得以充分冷卻後再置入乾式貯存箱，且又必須解決用過燃料池空間不足的問題，蒂



比利時多爾電廠將用過核燃料裝入金屬護箱(圖片來源:比利時Tractbel公司提供)

昂日電廠遂興建濕式貯存設施，該設施共有8座容納池，可容納3,720束用過核燃料。當用過核燃料退出爐心、在用過燃料池貯存2至5年後，裝入法國亞瑞華（Areva）公司生產的TN-17護箱（可盛裝12束用過核燃料），移至濕式貯存設施貯放。但因該設施無法容納40年運轉所產生的用過核燃料總量，因此濕式貯存一段時間後，將會移入乾式貯存設施做更長期的貯存。

乾式貯存

將用過燃料以特製的燃料護箱貯存，利用空氣進行自然對流冷卻的貯存方式，稱為乾式貯存。乾式貯存的散熱設計無需外部電源，常溫空氣經由護箱底部的進氣口流入，熱空氣再由護箱頂部的出氣口流出，即可

移除金屬護箱所產生的熱量。乾式貯存設施無須配備其他動力機械設備，因此不會有機械故障的問題。

乾式貯存應在機械設計上盡可能的簡化，並減少強制性（須提供額外動力）的冷卻或保護裝置；然而相對於濕式貯存而言，對於燃料護套完整性與衰變熱的要求較高，因此通常置入金屬護箱的燃料，需經過長期冷卻，以確保其燃料表面溫度在空氣冷卻下，不致超過攝氏 400 度。且燃料需進行移動、修理、檢查、運送或是核子保防稽查等作業時，需有特殊設施（如熱室或是燃料檢查池等）協助進行相關作業，將增加作業的時程與複雜程度。

比利時應用乾式貯存的情況

比利時目前雖暫停再處理用過核燃料的後端策略，但未來並非完



比利時多爾電廠室內貯存設施。(圖片來源：比利時 Tractbel 公司提供)

全放棄此一策略，所以仍有可能進行再處理回收再利用，因此其乾式貯存設施是採金屬護箱並安置在室內結構物中，以便於進行後續作業。

比利時乾式貯存的相關規定，採美國聯邦法規 10CFR72 及國際原子能總署 (IAEA) 相關要求，在貯存與意外情況下，需滿足以下要求：

1. 火災完整性，需耐受攝氏 600 度 / 小時；
2. 在無緩衝材料下，於 2.5 公尺垂直掉落後護箱需保持完整；
3. 於 9 公尺高度下，垂直或傾斜摔落後護箱需保持完整；
4. 於 1 公尺高度下，墜落於鋼棒的穿刺測試後，護箱必須保持完整；
5. 墜落測試後，護箱需通過火災完整性（攝氏 800 度 / 半小時）複測；
6. 護箱表面劑量率需小於 2 毫西弗 / 時。

多爾電廠因設有較大的燃料池空間，因此有較充分的時間可以冷卻用過核燃料，毋須興建濕式貯存設施，而是在燃料靜置一段時間後，直接裝入 5 種型式的護箱（每只可盛裝 24 至 37 束不等），再移至室內貯存設施（SCG，有 2 座，分別可容納 53 個及 112 個金屬護箱），貯存 50 年。

結論

乾式貯存與濕式貯存並無優劣之別，應視本身需求來決定，相關優缺點整理如表 2。

貯存建築物在設計上，可考慮由金屬護箱與建築物共同達成安全需求，使金屬護箱不需要完全承擔所有的安全需求，而是透過建築物補強安全需求。盡可能的採用被動式的防禦，例如透過良好的通風設計，使金屬護箱有良好的散熱條件，而無需加裝電扇或空調等冷卻系統。

（本文作者為台電公司核能工程師）

表 2. 乾式貯存與濕式貯存優缺點比較

濕式貯存	乾式貯存
1. 短期而言，需要較高的投資成本，但貯存數量規模較大，經濟效益較高。 2. 需透過馬達、泵等主動元件冷卻，並裝置備援系統應變。 3. 維護成本較高。 4. 輻射防護條件相對較好。 5. 容易對燃料進行調整與檢查。 6. 日後貯存的選擇，有較大的彈性調整空間。	1. 可依照退出燃料的數量需求，決定投資額度。 2. 透過空氣自然對流，被動式冷卻。 3. 維護成本較低。 4. 長期燃料完整性尚不可知。 5. 對燃料進行調整與檢查需有其他設施協助(如熱室、燃料檢查池等)。 6. 當相關法規修改，護箱可能需要進行更換，產生新的支出。


比利時境內的蒂昂日 (Tihange) 核電廠

比利時用過核燃料中期貯存建築物的設計概念

文 洪國鈞

主要設計需求

比利時的後端政策由原本的再處理變更為暫時貯存，因此短期內必須保留各項處理方式的彈性。就最終處置而言，預期將在 2045 年才能提出最終解決方案，因此現階段必須依照各電廠的特性，選擇最合適的貯存方式。多爾（Doel）電廠因燃料池空間較為充足，用過燃料能夠獲得充分冷卻，因此可以直接進行乾式貯存，但第 1 期乾貯空間將於 2023 年裝滿，因此需進行第 2 期乾貯計畫，才能滿足時程需求。而蒂昂日

（Tihange）電廠因燃料池空間非常有限，用過燃料並無去處，因此必須先運送到濕式貯存設施進行冷卻。就目前的情況來說，濕式貯存設施預計在 2022 年貯滿，因此必須要在 2022 年前進行乾式貯存計畫，而濕式貯存設施仍繼續進行燃料冷卻的功能直到 2077 年。

基於上述的現實條件，在考量核能機組可能延役的情況（多爾電廠已獲准延役 10 年），推算可能產生的用過燃料，據此決定乾貯型式與建築物的需求。比利時依據其國情，在經濟面與技術面的客觀考量後，決定採用兩用金屬護箱型式進行貯存，但仍需要進行下列的差異性調整：

1. 金屬護箱與不同燃耗用過燃料間熱移除能力與輻射屏蔽能力；
2. 不同用過燃料冷卻週期的差別（多爾電廠餘熱限制為 28 kW，蒂昂日電廠餘熱限制則為 16 kW）。

設施主要設計準則

1. 符合各項法規、國際規範與一般技術規範的要求；
2. 需調查廠址資料與廠址的特性條件對設計進行調整；
3. 新增的安全規範，如 911 事件與福島事件後新增的安全規範；
4. 盡可能的利用電廠中現有的一般設施，盡量減少新建設施；
5. 將來需用的設施，先盡量使用電廠現有設施，再於適當時機興建，以減少先期投資，例如用過燃料的檢查可以先用電廠用過燃料池，待接近貯滿的情況時，再興建熱室；
6. 運作使用的系統應盡量與電廠的運轉系統分離，如消防、緊要電源等；
7. 文件的保存與可追溯性。

建築物的設計要求

1. 基本假設

（1）在設計上，可考慮由金屬護箱與建築物共同達成安全需求，使金屬護箱不需要完全承擔所有的安全需求，而是透過建築物補強安全需求。

（2）盡可能的採用被動式的防禦，例如透過良好的通風設計，對金屬護箱進行良好的散熱，而無需加裝電扇或空調等冷卻系統。

2. 業主要求

（1）運轉設計上，以至少使用 80 年為考量，並考慮電廠內所有用過燃料最終處置的時間。

（2）因電子設備的生命週期較短，電子設備的更換需簡易執行。

（3）建築物的興建需要進行許多的調查，因此調查、興建與運轉過程，需盡可能的降低對電廠機組的影響。

（4）需考慮建築物基礎是否會對現有設施產生影響。

3. 貯存區

（1）在任何情況下都需要滿足以下條件：



比利時多爾電廠金屬護箱安置於室內貯存設施(圖片來源:比利時 Tractbel 公司提供)

a. 不允許移動任一金屬護箱穿越兩金屬護箱間；

b. 不允許移動任一金屬護箱越過其他金屬護箱。

（2）需充足空間與照明滿足核子保防要求。

（3）需盡可能降低污染的可能性。

（4）建物寬度限制與混凝土基樁相當，約 40 公尺。

4. 舉吊區

（1）需有能力吊舉盛裝燃料的金屬護箱與傳送護箱；

（2）需有能力吊舉金屬護箱的相關配件；

（3）舉吊區應與貯存區分離，以達到輻射合理抑低的目標；

（4）需預留足夠空間以進行非預期性事件的處理，如考量運轉彈性、金屬護箱供應延遲等。

用過燃料貯存安全功能架構

對於用過燃料的基本安全功能，依據西歐核能安全管制者協會(The Western European Nuclear Regulators Association，WENRA)針對歐洲核電廠的定義，區分為安全狀態（safe state）與控制狀態（controlled state）。其中，安全狀態是指狀態結束時，無燃料熔損情況；控制狀態則是意外發生後，需盡可能的減緩意外的損害，亦即不使災害惡化的情況。

因此，基本安全功能需要確保設施處於安全狀態，但也應思考進入控制狀態下的情況，使燃料結構或放射性物質得以維持。所以，用過燃料貯存的安全功能，依照所要求的維持狀態區分為：

1. 維持「安全狀態」所需的基本安全功能：

（1）需維持在次臨界狀態；

（2）維持良好的熱移除能力；

（3）有效局限放射性核種的能力；

（4）輻射防護能力；

（5）可回復性。

2. 維持「控制狀態」所需的基本安全功能：

（1）需維持在次臨界狀態；

（2）維持良好的熱移除能力；

（3）有效局限放射性核種的能力。

由於金屬護箱與建築物在安全設計上有各自的設計目標，因此針對上述基本安全的功能，金屬護箱與建築物的設計目標有所不同，茲詳列於表 1。針對建築物，並不需要確認用過燃料可處於次臨界狀態；但對於金屬護箱透過自然對流進行的被動性熱移除過程，不能產生阻礙。建築物存在的好處，主要是提供額外的輻射屏蔽，以保護一般民眾；也可以避免氣候因素造成金屬護箱的老化或缺陷，對於一般民眾的觀感也較佳。

針對建築物的安全分析，需考慮以下假設：

1. 在正常與意外狀況下的洩漏率必須低於限制值；

2. 金屬護箱的內外部結構必須完整；

3. 金屬護箱的內外部幾何必須完整；

4. 需永遠處於次臨界條件，即使是水注入金屬護箱中的情況。

5. 可不考慮燃料的完整性。

設計流程

1. 熱傳設計

進行設計流程前，需要先設定設計目標，之後決定設定參數，並產生對應的限制。

熱限制值受限在兩個規範：平均表面溫度需在攝氏 100 度以內；表面最高熱點溫度不能超過攝氏 115 度。為了滿足以上兩個規範，金屬護箱的熱移除能力，主要依賴對流與輻射兩種型式；對流的熱移除能力，取決於流體的種類與流率，但此處是考慮被動式自然對流，因此在無外力且冷卻劑為空氣的情況下，對流能移除的熱量最多為 13kW，因此當盛裝熱負載超過 13kW 以上的用過核燃料時，需要依賴輻射熱傳來移除餘熱。

表 1. 比較金屬護箱與建築物在各基本安全功能設計目標的差異

項目	金屬護箱	建築物
需維持在次臨界狀態	需計算確認	無
維持良好的熱移除能	需具有被動性熱移除能力	可強化金屬護箱的被動性熱移除能力
有效局限放射性核種的能力	在正常與意外情況下，需符合洩漏率的限制	無
輻射防護能力	可確保工作人員的輻射劑量限值	可確保一般民眾的輻射安全限值
可回復性	可以提供安全吊掛與更換金屬護箱部件	在緊急情況下，可以吊舉與運輸金屬護箱



比利時多爾電廠金屬護箱移至室內貯存設施(圖片來源:比利時Tractbel公司提供)

在考慮金屬護箱的周圍均沒有其他障礙物的情況下，熱量可以無阻礙地輻射到外界去，因此計算上必須考慮到最不利的情況。熱移除能力與每只護箱間的距離呈正比，距離越近，輻射熱傳的效果越差；距離越遠，輻射熱傳的效果越好，但是並非無限距離。多爾電廠因為空間限制，必須將每只金屬護箱的間距縮短至3.5公尺，因此其裝載的用過核燃料的餘熱限制在29kW（平均裝載熱負載為25kW）。

2. 輻射防護設計

為了確保輻射防護可以確實達到「合理抑低」，並盡可能降低對公眾的健康影響，必須考慮廠區的輻射劑量率、工作人員劑量率，以及在意外狀況下人員受曝的劑量率，都必須小於法規限值。據此條件，可以決定建築物牆壁與屋頂的厚度、組成，以及窗戶與對流開孔的尺寸。當然，金屬護箱本身可以提供輻射防護的能力，在距離金屬護箱2公尺處的輻射劑量率，必須小於每小時100微西弗，然而此處的劑量率是加馬射線與中子射線的混合劑量，在建築物內，來自加馬射線的劑量比例高於來自中子射線的劑量比例；然而在建築物外，則是來自中子射線的劑量比例高於來自加馬射線的劑量比例。特別是來自於天空散射而來的輻射劑量，如果能夠在屋頂安裝聚乙烯或是樹脂等中子緩和與吸收材料，可以大幅降低建築物外的輻射劑量；此外，建築物外的劑量也與窗戶的尺寸大小有關，越大的窗戶尺寸，通常建築物外的劑量率也越高，在對流孔的設計上，可以考慮以多牆迷宮阻隔方式的屏蔽，以降低建築物外輻射的劑量率。

系統功能性需求

1. 天車

（1）需能滿足金屬護箱作業上的所有需求；

（2）需能滿足金屬護箱其他部件與工具在作業上的所有需求；

（3）結構必須能耐受設計基準地震；

（4）失電情況下，天車需有能力吊舉負載；

（5）需能預防單一事故失能的能力；

（6）需能安裝保防封鉛。

2. 屏蔽門



比利時多爾電廠將金屬護箱自水平方向豎立至垂直方向(圖片來源:比利時 Tractbel 公司提供)

（1）需有輻射防護能力；

（2）分隔貯存區與吊掛作業區，以降低吊掛作業區工作人員的輻射劑量；

（3）結構必須能耐受設計基準地震；

（4）考量人員安全，與下列兩項設施間具有連鎖關係：

A. 人員進出門

B. 天車

（5）需能安裝保防封緘。

3. 氦氣監測

（1）為了確認金屬護箱的密封性，在內封環與外封環間以氦氣充壓，並安裝壓力錶監測壓力；

（2）監測錶需有多重設計，以確保不會因為單一錶頭失效造成空窗。

4. 人員操作平台（方便工作人員於金屬護箱上方作業）

（1）需與廠區所採用的各類金屬護箱匹配；

（2）平台下方安裝輻射偵檢器以向工作人員示警；

（3）平台下方安裝輻射屏蔽保護工作人員。

5. 消防

（1）預防、偵測並限制火災造成的風險；

（2）在貯存區不可以有熱源或起火負荷（fire load）。

6. 電源

（1）需提供正常運轉情況下所有用電需要；

（2）需建置後備直流電源（電池，比利時規定可供電 3 小時）或後備交流電源（緊急柴油發電機，比利時規定可持續運轉 16 小時）以因應失電情況；

（3）電源供應需有能力讓所有的設備處於安全狀態。

7. 儀控

（1）需持續監測氦氣壓力與貯存區氣壓；

（2）能發出警報，並提供不同系統間連鎖（如消防系統與空調系統連鎖）；

（3）可以控制風扇、防火閥或其他元件。

8. 輻射監測

（1）需能持續監測各區域大氣中加馬與中子劑量；

（2）能提供人員是否可以進入的正確指引；

（3）人員亦需配置被動式的輻射偵檢器以了解受曝情況；

（4）在正常與意外情況下，均能提供污染與劑量狀態。

9. **空調系統**（僅安置於輔助房間）

（1）維持大氣溫度與濕度條件；

（2）能協助消防系統進行火災控制；

（3）提供電池足夠對流，以避免電池爆炸。

廠區布置需求

1. **一般性準則**

（1）執照法規與核能安全上的要求；

（2）保護區的要求（如生態保護區）；

（3）廠區出入與運轉的便利性；

（4）對核電廠日常運轉的影響。

2. **廠房建築物廠區布置考量**

（1）廠址核子保防特性考量；

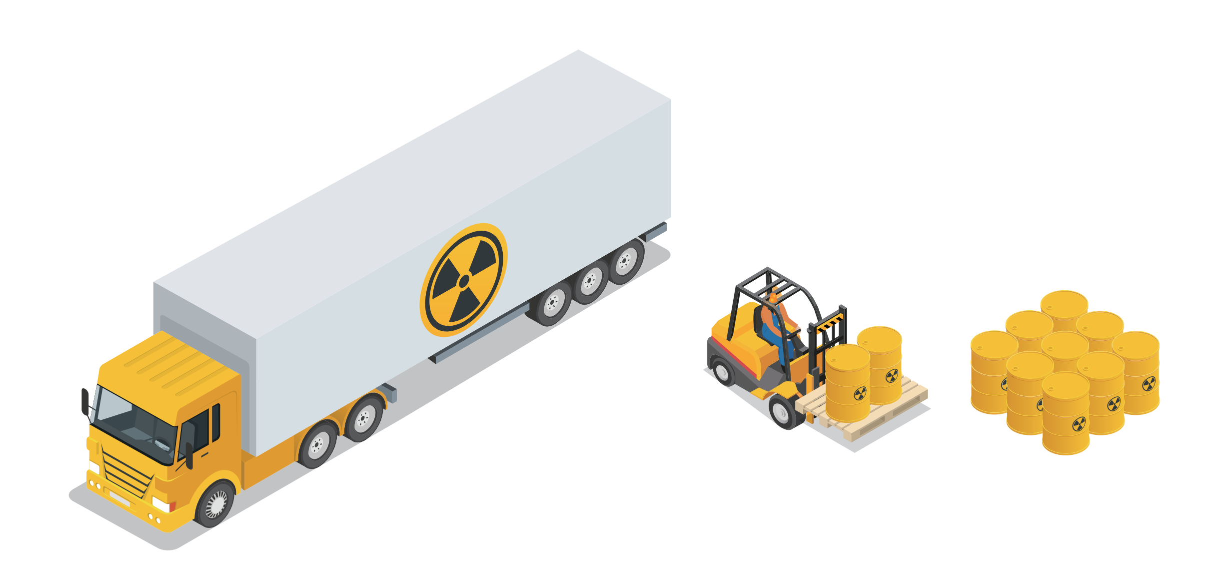
（2）與其他設施間的界面（如高壓電線路、冷卻系統等）；

（3）水文影響；

（4）對核電廠日常運轉的影響；

（5）每只金屬護箱的間隔。

（本文作者為台電公司核能工程師）



日本推動輻射教育的作法

文 劉振乾

東京電力公司福島第一核電廠事故，對於學校教育帶來嚴肅的課題，如何讓學童能夠正確瞭解輻射，以及如何教導學生不帶著偏見與人接觸的態度。對於已經在心理上受傷的學生們，教師又如何與之相處？以下是遍訪福島縣內外學校現場的報導。



發出訊息的力量

「我們要把調查確定的事情，傳達給對於福島的食物感到不安的人。」2018 年 2 月 21 日，站在以福島縣三春町的舊工廠改為校舍的富岡第一國中一張「輻射學習成果海報」面前，國一的岡田悠雅同學如此強調。

福島事故後已經經過 7 年，即使是核電廠周邊的鄉鎮，有一部分已解除避難，開始還鄉，但是居民對於輻射的不安仍根深蒂固。以全國的視野來看，謠言災害仍未全部消除，對於肩負復興重責的學生們，讓他們正確瞭解輻射是當務之急。

過去有 30 年之久，日本有關輻射教育已從國中教科書中消失，直到 2008 年修訂，從 2012 年全面實施的「現行」國中學習指導綱領，才又恢復輻射教育，但是內容還是不多，因此才有最近一次的修訂。文部科學省將輻射教育的「副讀本」加以修訂，並在 2018 年夏天分發到全國的小學、國中、高中，擴充給教師研修的補充教材。

培養以科學為根據並發出資訊的能力

福島縣教育委員會把輻射教育的目標放在「培養以科學為根據，並發出資訊的能力」，讓學生從身邊的疑問出發，一步步地增進瞭解。而富岡第一國中就是「實踐合作學校」之一。

一年級有 7 位同學，在 2018 年度每週上一節課的綜合學習時間，以「瞭解解除避難後的富岡町」為題目，各自設定放射性物質的除污作業如何進行？除污產生的廢棄物有沒有安全處理？等學習課題。他們採訪富岡町公所的員工，以實際測量輻射劑量。

岡田悠雅同學選擇的題目是「食品的安全性」，學習到米、蔬菜、水果、魚等在出貨前都已經過檢查，他使用測定器調查在市場銷售的郡山市生產的蔬菜，沒有檢測出放射性物質。岡田同學說：「我瞭解到在市面上銷售的食品是安全的。」

富岡第一國中的校長村上順一說:「只是

表 1. 已列入下一期學習指導綱領的輻射教育主要內容 (2020 年度後全面實施)

小學	國文	瞭解說話與文章中資訊的處理方法
	社會	提到核電廠事故，思考電力供應
	道德	對於任何人都要以公正、公平態度接觸
國中	國文	瞭解如何確定資訊的可靠性
	理科	藉著學習真空放電(國二)與能源資源(國三)的課程接觸到輻射
	技術、家庭	資訊倫理、適當的選擇食品
	保健體育	瞭解健康是如何形成
	道德	努力實現無差別與無偏見的社會

資料來源:日本文部科學省資料

表 2.「Commutan 福島」的主要展示內容

311 之後的福島	以影像與新聞報導說明福島事故的經過
福島環境現狀	介紹避難者數量與食品的檢查結果等福島縣的數據
輻射實驗室	1. 藉影像與霧箱學習「什麼是輻射」 2. 探索福島縣內最新的輻射劑量，與事故剛發生時以及國內外的鄉鎮做比較 3. 以影像介紹除污作業如何進行
環境創造實驗室	再生能源的學習

單單因為『福島縣出身』就有可能被貼上核電事故的印象，這是目前的現實。我想讓同學們將來在升學或就業時，被問到故鄉的情形時都能挺起胸膛有自信地回答。」

只要一點點

福島縣教育委員會敦促小學與國中，每週能上兩節輻射的基本內容，但是在教師們的忙碌工作中，要他們付出這麼多時間實在有困難。富岡國中推薦的是「只要一點點輻射」，在平常的授課中添加一點點與輻射有關聯的內容就行。在數學課，教導表示對於身體的輻射影響的「西弗 (Sievert，以 Sv 表示)」這一名詞。教導「毫 (milli) 」的一千分之一為「微 (micro)」(微是百萬分之一)。在家庭科的烹調實習，就加入食材的輻射檢查體制介紹。教務主任志賀仁老師說:「只要花一點心思，就能不用勉強地做出輻射教育。」

對於福島縣的輻射教育提供建言的福島大學山口克彥教授說：「輻射教育能提供我們必要的基礎，讓我們在面對核電事故時，思考日本社會的存在基礎以及我們的生活方式。重要的是培育對輻射具有正確觀念的年輕人。」

在科學館提供更深入的輻射教育

2018 年 2 月 21 日，由福島縣政府營運的「Commutan 福島」科學館 (位於三春町) 一間展示室裡，從福島市來的小學 4 年級的學生正使用測定器量測從湯之花 (入浴劑) 以及肥料所釋放出來的輻射劑量。實驗的題目是「量測身邊的東西所釋放出來的輻射劑量」，指導該作業的科學館教育指導員佐佐木清說：「如果認為有問題，先量測再說。」強調自己把事實弄清楚的做法非常重要。

2016 年 7 月開幕的「Commutan 福島」是專為學童們設置的學習設施，展示內容如表 2，藉著影像與展示品學生們可以學到福島事故的經過、避難者數量，與除污作業的情形，其中輻射實驗則是學習課程的亮點。

佐佐木先生是福島縣內的國中理科老師退休，在福島事故後，就從事輻射教育的研究

與普及，堪稱為其他老師的模範。福島縣政府對於縣內的小學補助巴士費用，到 2018 年 2 月底，縣內已經有 6 成的小學，共 265 所學校、約 11,000 名學童到此學習。佐佐木老師說：「當災害發生時要面對風險，不靠人幫忙，自動自發採取行動互相幫忙。在此地學到的東西對於防災教育也有幫助。」

佐佐木老師的講座也活用於教師的研修。2017 年 7 月到 11 月，東京都共有 237 位新任副校長參與此講座。東京都政府教育委員會負責研修的官員說：「希望受訓學員不單是把輻射的『可怕』去除掉，而是思考如何連結到教育上。」

希望當老師的大學生 研究如何指導學生

在培養教師系統的大學，則教導大學生如何指導學生學習輻射。東京學藝大學於 2014 年開始，與大阪教育大學等 3 所大學共同授課，已經有約 70 名大學生參與聽講。

2018 年 2 月 20 日，東京學藝大學附屬的小金井國中 3 年級的理科課程中，東京學藝大學 2 年級的矢吹詩步同學，做了「霧箱」的實驗。霧箱裡充滿酒精的蒸氣，當輻射飛過的時候就會出現如飛行雲一般的痕跡。在霧箱上放置微量的放射性物質，放射線飛行的痕跡一次又一次的出現，國中生也一次又一次的大叫起來。在放射性物質底下插入一張紙，那痕跡就不見了。矢吹同學解釋：「阿伐射線用一張紙就能擋住。」

矢吹同學來自福島縣郡山市，想當故鄉的國中理科老師。他說：「對於輻射，自信能夠教得不錯。」指導矢吹同學的東京學藝大學的鎌田正裕教授說：「我們的日常生活裡就有種種的風險，輻射則是能讓我們思考風險、培養出判斷力的教材，應該推廣到全國的各級學校學習。」

《中央公論》2018 年 1 月號中刊登了作家神津 KANNA 女士的答客問，很適合作為本文的結論，提問者為讀賣新聞編輯委員近藤和行：

提問：也許有不少人因為經歷過 311 震災後的輪流停電措施，而改變對能源的意識，針對尚未完全收斂的福島問題，我們該做些什麼？

答覆：能做的事情很多，其中最重要的是「正確的知道」，我們從印象或是媒體資訊獲得的東西與現實是不同的。比如福島縣產的稻米是每一袋都經過輻射劑量檢查，2015 年以後完全沒有超過基準值的。可是，消費者對於福島縣產品還是有一絲絲不安的感覺吧。如果不知道事情的正確性就容易產生謠言，也將阻礙福島的復興。

資料來源：
2018/3/8、3/9，日本讀賣新聞「學習專欄」


在辛巴威南部的 Matebeleland，農民與剛收穫的新品種豇豆 CBC5。（圖片：辛巴威農作物育種研究所）

可抗旱耐蟲害的新豇豆

文 編輯室

使用「核技術」培育的新品種，
辛巴威農民的豇豆產量增加了 10-20%。

在原子能總署（IAEA）與聯合國糧食及農業組織（Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO，後簡稱糧農組織）的支持下，開發的新品種於 2017 年 11 月公諸於世。新品種的豇豆展現出更高的耐旱性和抗蟲性，使農民能夠更容易地應付氣候變遷，特別是在容易發生乾旱的地區。

辛巴威農民 Tafirenyika Gumbomunda 說：「氣候變遷、乾旱、病蟲害，以及土壤貧瘠都會影響到我們窮人。過去我們主要是種植玉米，但現在已經用豇豆豐富了我們的食物籃。」他補充說：「我們正在利用先進的核技術來因應氣候變遷，這些核技術已經幫我們產出了耐旱的豇豆。」

這種新豇豆品種稱為 CBC5，是使用輻射照射所開發改良而成，這種過程通常運用在農作物上，使其產生新的和有用的特性，也就是「農作物誘變育種」。

一種新的耐旱豇豆品種

豇豆是辛巴威最重要的生產和消費的 4 種豆類之一，在促進該國糧食供應方面有關鍵性的影響。辛巴威農業部農作物育種研究所（CBI）的植物育種科學家馬托瓦（Prince Matova）表示，豇豆是一種自給自足的作物，主要由資源匱乏的農民種植。「與其他作物不同，豇豆需要的水量較少，更適合貧瘠的土壤和較乾燥的氣候。我們正在進行的研究主要在使這種作物更耐旱，營養密集，更容易為農民和消費者所接受。」豇豆富含蛋白質、鋅、鐵和維生素，是天然的營養來源。

馬托瓦說，在辛巴威較乾燥的地區和撒哈拉以南的非洲其他地區，每年平均降雨量只有 250-300 毫米。他補充說：「令人擔心的是，農作物生產一直是受氣候變遷的影響。由於飢餓，農民也陸續地失去牲畜，因為大多數這些地區，特別是在乾旱季節時，幾乎沒有任何草地可以餵養牲畜。」豇豆葉子還可以用作牲畜的飼料，在牧場乾燥的淡季期間補充飼料。「這種新的改良豇豆品種也提高了飼料的產量，可供農民用來支持其農作物與畜牧養殖系統。」馬托瓦強調。農民 Gumbomunda 說，豇豆不僅為家庭提供了食物，出售所得的現金更可以幫助他們支付孩子的學費。

在辛巴威使用輻射照射進行突變育種，而開發的新品種豇豆—CBC5。（圖片：辛巴威農作物育種研究所）



研究室協助技術轉移

農作物育種研究所將豇豆種子送到奧地利塞伯斯多夫糧農組織 / 國際原子能總署糧食和農業核技術聯合處的植物育種與遺傳實驗室進行輻射照射，之後將種子送回研究所，從眾多突變體中選出特性優良的品種，再測試其耐旱性和產量。

國際原子能總署經過技術合作計畫，幫助辛巴威科學家提供培訓和設備。農作物育種研究所工作人員和合作夥伴接受了育種技術培訓，其中包括選擇優良突變品種的方法。

輻射照射改良育種

植物的自發性改良突變，經常發生在自然界中，因此它們不斷適應環境的變化，但是需要數千年的時間，科學家們可以使用核技術加速此一過程。突變育種是開發具有所需性狀植物的過程，但比常規育種更快。使用加馬（γ）射線、X 射線或其他輻射射源，以誘導植物中可遺傳的遺傳變異（突變）。改良的作物品種可在苛刻的環境條件下繁殖，或提高其營養價值、抗病蟲害、在鹽漬土壤中生長，或更有效地利用水和養分。然後，在選擇改良的農藝性狀後，繁殖單株植物並分發給農民實地耕種。

資料來源：
https://www.iaea.org/newscenter/news/new-mutant-cowpea-variety-helps-zimbabwes-farmers-in-drought-prone-areas#infobox



藉由核技術的協助，幫助辛巴威學童能有健康的營養午餐果腹。(圖片：IAEA 網站)

親愛的～我把營養午餐變健康了

文 **編輯室**

儘管缺水而且土壤貧瘠，辛巴威兩個貧困又乾旱地區的學校家長卻能夠種植蔬菜，使他們的孩子上學時不致於忍饑捱餓。

聯合國糧農組織（Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO）與國際原子能總署（IAEA）聯合技術合作處，在辛巴威的對口工作小組，提供家長和學校官員如何管理缺水土地和提高土壤肥力的建議。來自蔬菜田的食物為孩子提供了營養午餐，賣出多餘的農產品後還支付了學費，團隊與學校和家長共同建立蔬菜田的建議，現在更提供了社區其他民眾採用。

辛巴威的這兩所學校位在首都哈拉雷（Harare）以外的地區，學生到校時就已經饑腸轆轆，經常在上課時因為飢餓而無法集中注意力。根據報導，有些孩子在學校集會

時因飢餓而暈倒，其他人則根本沒去上學，因為父母無法支付學費。當學校的校長聯繫糧農組織／國際原子能總署的聯合技術合作處，請求協助在學校附近建立蔬菜田時，獲得了肯定的答覆，並且成立了一個團隊來支持這項計畫。

過去，學校曾試圖開闢蔬菜田，但由於氣候極度惡劣，環境條件極差，土壤貧瘠而宣告失敗。在辛巴威這裡，沒有灌溉就很難擁有健康的蔬菜田；此外，他們還需要肥料，但肥料在當地非常昂貴且難以取得。因此，在幫助學校開展農地的過程中，工作團隊體認到需要經由小規模滴灌法來充分利用水資源，並且確保能被有效的利用。

聯合國已經為非洲 16 個國家的區域技術合作計畫提供協助，其重點是利用核技術制定有效利用小規模灌溉系統的計畫書。之後，向當地對口人員展示如何確定土壤水分狀況和肥料需求，從而不浪費寶貴的資源。

學校蔬菜田為學生及其家庭提供食物

當辛巴威對口人員同意幫助校長建立蔬菜田後，他和團隊立即在哈拉雷的研究站進行研究，以確定各種農作物各需要多少灌溉水，以及能有多少的水資源。他們使用了中子探針和氮 15 穩定同位素示踪劑，這是區域計畫推薦使用的工具，可幫助學校以最節約資源的方式建立自己的農地。

中子探頭是一種傳感器，可以測量土壤表面之下的水量，適用於乾燥和開裂的土壤，運用氮 15 穩定同位素技術可追踪使用氮肥的路徑，以確定植物的根是否實際吸收了氮肥。如果沒有正確使用肥料，它有可能就這樣留在土壤內，如同溫室氣體般散發至大氣



來自蔬菜田的食物為孩子提供了營養午餐，賣出多餘的農產品後還支付了學費。


學生家長自力耕種，提供孩子與家庭飽足的蔬菜來源。(圖片：IAEA 網站)

中，導致氣候變遷；或者可能被沖走，進而污染水源，更別說肥料的過度使用意味著用來購買的資金被浪費了。

在諸如此類的貧困地區，最有效地利用所購買的肥料尤其重要，一旦決定了蔬菜田的正確位置，由學校的家長自行備妥土地並進行種植。他們種植了羽衣甘藍菜、包心菜、洋蔥和番茄甚至還有甜豆，這些蔬菜被認為是健康飲食的重要材料。對口人員持續提供協助，根據灌溉的時間和數量，何時施用、施用多少肥料，以及控制害蟲的最佳方法等提供建議。

經由這個計畫，學校的家長能夠收穫農產品，為他們的孩子在學校和家庭提供健康營養的午餐，出售農產品的利潤也讓他們可以支付學費。最重要的是，他們確保了孩子不是空著肚子上學。

資料來源：
https://www.iaea.org/newscenter/news/nuclear-techniques-help-provide-zimbabwe-children-with-healthy-school-lunches


國際組織團隊的研究人員以核技術協助辛巴威民眾改良灌溉技術。(圖片：IAEA 網站)

美國 NASA 核子熱動力太空計畫的最新進展

譯 **編輯室**

美國太空總署太空技術任務理事會（NASA's Space Technology Mission Directorate, STMD）在 2018 年 10 月 20 日造訪了 BWXT 技術公司（BWX Technologies, Inc），以了解與該公司合作的核子熱動力（nuclear thermal propulsion, NTP）計畫相關的最新進展和技術展示。這座核子反應爐可能是核子熱動力火箭發動機的一部分，其設計目的是要將太空船從地球軌道推進到火星並且返回。

美國太空總署 STMD 的主管路特（Jim Reuter）參觀了 BWXT 公司位於維吉尼亞州林奇堡（Lynchburg）的高級技術實驗室，以了解 BWXT 公司的進展，以及更多相關資訊，預計此計畫可以支持美國未來的火星任務。BWXT 公司為了核子熱動力計畫開發了 3 項關鍵技術，分別是進步型焊接、金相學（金屬材料微觀結構的研究）與燃料元件的充填，路特這次也觀看了這些技術的示範操作。

BWXT 公司總裁兼執行長吉威登（Rex Geveden）說：「我們相信核子熱動力技術是將人類帶到火星的理想推進系統，我們的科學家和工程師每天都在努力實現此一目標。」BWXT 公司的反應爐設計是採用低濃度鈾燃料，他表示，太空飛行的核子熱動力技術優於以化學為基礎的設計，主要可以提供更高的效率和功率密度。這將有助於縮短宇宙飛行的時間，減少太空人曝露於宇宙射線的輻射。

BWXT 公司 2017 年宣布，已從 NASA 獲得了 1,880 萬美元的合約，用於反應爐初始概念的開發，初始燃料與核心的製造與開發，執照許可申請和發動機測試程序開發等。在這份為期 3 年的合約期間，該公司將製造和測試原型燃料元件，並幫助 NASA 妥善解決和核子許可與監管要求有關的審查程序。BWXT 公司也將幫助 NASA 改進、開發核子熱動力引擎的可行性和可負擔性，並提供專業技術與數據，以決定在未來幾年內將如何實施這種具有前景的技術。

資料來源：
http://www.world-nuclear-news.org/Articles/NASA-officials-get-update-on-nuclear-thermal-propu



NASA Jim Reuter 訪問 BWXT 的 Lynchburg 實驗室時接受媒體的提問（圖片來源：BWXT 公司）

法國協助日本福島開發高放玻璃固化技術

譯 編輯室

過去 6 個月，法國展示了一項為日本福島第一核電廠所開發的計畫—放射性廢棄物玻璃固化的創新技術。

自 2018 年 4 月 27 日起，法國替代能源（French Alternative Energies）、法國原子能委員會（CEA）、歐安諾（Orano）公司和日本 ANADEC 一直在評估使用 CEA 所研發的「罐內（in-can）玻璃固化法」，來處理福島第一核電廠廢棄物的效益如何。這些廢棄物是因處理污水所產生的污泥和礦物吸附劑，玻璃固化是將這些高放射性廢棄物固定在玻璃體中的作法。

CEA 的瑪庫勒（Marcoule）實驗室研發了一種壓實的罐內玻璃固化程序，所使用的熔爐是一次性的，用於玻璃固化的初次容器。在福島第一核電廠展示所使用的技術主要包括：

一、研發和調製出耐用性廢棄物形式的基質「配方」，這將在法國 CEA 的瑪庫勒實驗室進行 100 公克實驗室規模、1 公斤小型實驗室規模，和 100 公斤接近工業規模 3 種測試。

二、針對過程的執行、運轉與維護導則，以及廢棄物處理，進行可行性研究。這些研究將由歐安諾公司主導。

在一份聯合聲明中，歐安諾公司和 CEA 表示，「實驗室」的測試和一部分的「小型實驗室測試」已經順利完成。他們表示「接近工業規模」的測試正在進行中，預計到 2019 年 3 月底完成，之後進行可行性研究。

對於此計畫，日本方面的技術與商業界面將由 ANADEC 提供，這是一家由歐安諾公司與日本核電廠維護與放射性物質管理公司（ATOX）於 2014 年合資成立的企業。包括一座多核種清除設施—進步型液體處理系統（Advanced Liquid Processing System, ALPS）在內的多個設施，目前用於處理福島第一核電廠積累已久的污水。在污水中含有的銫與鍶濃度降低之後，除了氚以外，ALPS 幾乎可清除全部的放射性物質。

2015 年 5 月已處理完成所有含有鍶的高放射性污水，但儲水槽底部的殘留水仍待清理。這有助於降低污水流經房屋附近所增加的輻射劑量，或是污水從儲水槽中洩漏而出的風險。銫與鍶濃度已經降低的污水仍需要以 ALPS 做進一步處理，以降低放射性污染的風險。

資料來源：
http://www.world-nuclear-news.org/Articles/France-touts-vitrification-process-for-Fukushima

美國牡蠣溪核電廠在運轉 49 年後將除役

譯 **編輯室**

美國 Exelon 電力公司宣布，位於紐澤西州的牡蠣溪（Oyster Creek）核電廠在經過 49 年的商轉後已於今（2018）年 9 月 17 日起終止運轉。該座只有單部機組的核電廠為美國最古老沸水式反應爐的所在地，機組發電功率約 62 萬瓩，1964 年開始建設工程，1969 年開始併網發電，與紐約州九哩點（Nine Mile Point）核電廠 1 號機同一天投入商轉，九哩點 1 號機也因牡蠣溪的除役，變成美國運轉時間最久的核電廠。

Exelon 電力公司表示，牡蠣溪核電廠在商轉期間生產了近 2 兆度的零碳排放電力，也抵銷超過 1.4 億噸的二氧化碳排放。在今年 1 月當地面臨到破紀錄的暴風雪時，該座核電廠仍得以使用低功率運轉來供應電力。儘管該座核電廠原可運轉至 2029 年，但 Exelon 因紐澤西州修改其用水規定，需花 8 億美元建立一座新的冷卻塔，遂於 2010 年決定將其提早除役。

美國核能管制委員會（NRC）稍早在 7 月時表示，該電廠內的放射性物質可能會遺留到 2070 年，甚至超過。根據 NRC 的轉述，Exelon 公司已開始將反應爐內的用過核燃料轉移至外層由水泥包覆的鋼製容器中，進行乾式貯存，讓其中的放射性物質隨著時間降低。未來幾年內將轉移更多的用過核燃料至乾貯設施，預計將在 2024 年前清空用過核燃料池。

Exelon 也在公司網站上公布為期 75 年的除役計畫，該座電廠將會以「安全貯存」的方式進行除役，反應爐會維持擱置的狀態，直到 2075-2078 年、待其放射性水平降至正常值後才會開始拆除工程，但 Exelon 表示，時程表可能會隨著除役工作的進行而縮短。

Exelon 也因牡蠣溪電廠的關閉在今年早些時候開始縮減工作，在 2 月時就表示，該電廠的關閉將會為電廠的員工提供更好的機會，讓這些員工在 Exelon 集團的家族公司尋找空缺職位，也將幫助該公司在面臨歷史新低的電價，以及燃料與維護成本仍持續上升的情況下，更有效的管理資源。

資料來源：

1. World Nuclear News. (2018, September 18). “Oyster Creek retires after 49 years.”
2. Power Magazine. (2018, September 17). “Oldest U.S. Nuclear Plant Shuts Down.”



美國紐澤西州的 Oyster Creek 核電廠（圖片來源：Exelon）

日本核電最新進展

譯 編輯室

日本東北電力公司與四國電力公司分別於今年 10 月底分別宣布將除役旗下女川核電廠 1 號與伊方核電廠 2 號機組。

女川 1 號機將除役

位於日本宮城縣的女川核電廠，自 1984 年開始商轉，東北電力公司表示，為一座裝置容量屬於偏小（52.4 萬瓩）的沸水式反應爐（BWR）增加額外的安全設施並不符合其經濟效益，這是在考慮到額外的安全措施、發電量與使用年限相關的技術限制後所做出的決定。

女川 1 號目前面臨到反應爐壓力容器內的空間有限，不易安裝如滅火、供電與替代注水泵等額外的安全設備。東北電力公司將向經濟產業省（METI）申請女川 1 號機的除役許可，同時為該部機組制定除役計畫，並提交至日本原子力規制委員會（NRA），這是日本在 2011 年福島事故後，第 10 座決定除役的核電機組。

女川核電廠是 2011 年 311 大地震時距離震央最近的核電廠，由 3 部機組所組成，另外兩部為裝置容量較大（82.5 萬瓩）的沸水式反應爐，分別於 1995 與 2002 年開始運轉。311 大地震摧毀了一共 5 條外部電源供應線中的 4 條，但 3 部機組當時仍都有足夠的電力停機進行冷卻，不過 1 號機（與核反應爐無關）的渦輪機建築與 2 號機的地下室分別面臨到失火與淹水的情況。東北電力公司目前正在建造一座 29 公尺高的海嘯牆，來保護該座電廠。

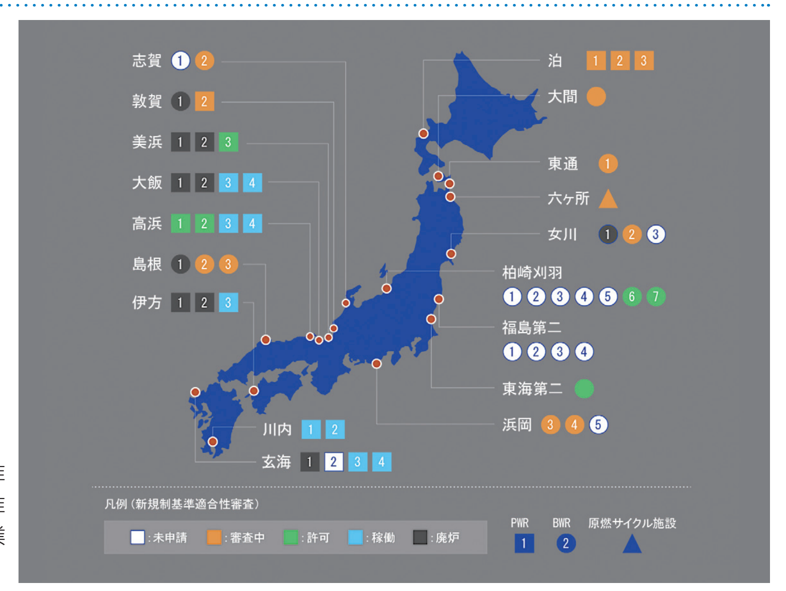
雖然東北電力公司並無計畫在 2020 年前重啟女川核電廠，他們仍在 2013 年時向原子力規制委員會申請對女川 2 號機進行安全審查，以確保電廠採取的加強措施符合新的安全審查標準，預計在明（2019）年 3 月可以完成安全強化措施的建設，東北電力公司也正在為 3 號機的安全審查申請做準備。

伊方 2 號機除役，3 號機重啓

在日本中部愛媛縣的伊方核電廠也在最近宣布，已向原子力規制委員會提出 2 號機的除役申請，並重啟 3 號機的運轉，預計將於 11 月底投入商轉行列。

營運廠商四國電力公司在今（2018）年 3 月就已決議除役自 1982 年開始商轉的 2 號機。雖然這座機組的運轉年限可到 2022 年，但由於在這部上加裝安全強化設備並不符合其經濟效益，因此決定除役。根據日本《朝日新聞》的報導，若要符合日本在福島事故後新制定的核安規範，該部機組需要花費近 18.9 億美金（約 600 億新台幣）來進行設備的改良。四國電力公司在 2016 年就以相同的原因除役伊方 1 號機組，這兩部機組都是 53.8 萬瓩的壓水式反應爐。

根據四國電力公司提出的除役計畫，伊方 2 號的除役四階段計畫預計將耗時 40 年的時間來執行，其中第一階段約需要 10 年，工作內容涉及反應爐的拆除，像是燃料的移除與放射性污染的調查等；爐心內共 316 束的用過核燃料將會送至再處理場進行再處理，還有 102 束未使用的燃料束則會被送回原燃料製造廠商。第二階段約需要 15 年的時間，主要是拆除反



日本在福島事故後反應爐執照獲批准情況，天藍色為再啟動，深灰色為獲准除役的機組（圖片來源：日本電氣事業聯合會、日本原子力安全推進協會）

應爐外圍設備與周邊主要設備。第三與第四階段分別需要 8 年與 7 年的時間，工作內容分別是拆除反應爐與所有建築物，以及外釋廠址供其他用途使用。

日本數部較小型的發電機組，在經濟產業省自然資源與能源部修訂了除役費用計算的會計程序後，即宣布決定除役，其中包括了關西電力公司於福井縣的美浜 1、2 號、日本原子力發電公司於福井縣的敦賀 1 號、九州電力公司於佐賀縣的玄海 1 號以及中國電力公司於島根縣的島根 1 號等，這幾部都是裝置容量僅介於 30 至 55 萬瓩的機組。另外，關西電力公司在 2017 年底也宣布不會重啟旗下福井縣大飯核電廠 1、2 號的運轉，加上東北電力公司、四國電力公司也分別於近期確定除役女川 1 號、伊方 1-2 號，日本在福島事故後宣布除役的機組目前已累計至 10 部。

另外，四國電力公司也在廣島高等法院解除暫停運轉的判決後，於近期啟動了伊方 3 號機。廣島高等法院在今（2018）年 9 月底批准了四國電力公司的上訴，撤銷了其 2017 年底頒布暫停運轉的假處分。

伊方 3 號在 2016 年 4 月時就已獲准重啟，隨後於同年 9 月開始恢復商轉，並於 2017 年 10 月再次關閉進行日常維護。該部機組在法院裁定假處分前原預計於 1 月重啟，但由於當地的反核民眾向法院聲請假處分，要求禁止伊方 3 號機重啟運轉，廣島地方法院已於去年 3 月駁回該申請，廣島高等法院在民眾提出上訴後，於去年 12 月中宣判四國電力公司到今（2018）年 9 月 30 日前，都不可重啟這座 89 萬瓩的壓水式反應爐。四國電力公司對此提出異議並舉行聽證會，高等法院因此替換不同法官再次進行審理，並在 9 月 25 日宣布，反核團體針對該電廠運轉時，可能發生破壞性火山爆發的擔憂並無根據，採信電力公司的說法，駁回該團體延長假處份的要求，准許 3 號機重啟運轉。

資料來源：

1. Nuclear Engineering International. (2018, October 31). "Japan's Tohoku Electric to decommission Onagawa 1."
2. Nuclear Engineering International. (2018, October 17). "Shikoku Electric applies to decommission Ikata 2."
3. Nuclear Engineering International. (2018, October 29). "Japan's Shikoku Electric restarts Ikata 3."

西班牙將在 2030 年前逐步淘汰核能與燃煤發電

譯 編輯室

在馬德里承諾未來將致力於建立 100% 再生能源發電系統後，西班牙能源國務秘書多明格斯（José Dominguez）宣布，西班牙將於 2030 年前關閉境內最後一座核電機組與燃煤發電廠，現在的政府也沒有計畫延長核電機組 40 年的運轉執照年限。

西班牙最古老的核電廠已運轉超過 37 年，根據目前的計畫將在 2021 年關閉並進行除役；運轉時間最短的機組則是剛慶祝其運轉 30 週年，預計將在 2028 年除役。多明格斯表示，西班牙的廢核計畫是一項「社會性的決定」，由於核電廠的除役是一個漫長的過程，應該以安全有序的方式來進行，他也承認西班牙有可能無法在 2030 年關閉所有的核電廠，但一定會在 2040 年前完成。

根據國際原子能總署（IAEA）的數據，核能在 2016 年替西班牙提供了 20% 的電力，而各種再生能源的總和則是 23%。西班牙政府最近公布的新氣候法草案主要是讓整個國家的電力系統在 2050 年時達到 100% 再生能源發電，並降低 90% 的二氧化碳總排放量。儘管該草案準確地提到廢除燃煤發電將是工作上的重點，但草案並沒有提到任何有關核電歸零的事情。

在 2030 年再生能源發電需要達到 35% 的情況下，未來西班牙勢必將持續、大量的投資再生能源，也因逐步淘汰燃煤的計畫將繼續，未來國家對天然氣的依賴也會因此加重。西班牙 14 座燃煤發電廠中有 9 座因為不符合歐盟規範，將於 2020 年中關閉，多明格斯證實另外的 5 座也不會運轉超過 2030 年。

西班牙政府希望能在年底前向議會提交該氣候草案，該草案的其中一部分也提到，將禁止使用水力壓裂（主要用來開採頁岩氣），廢除新的化石燃料補貼，以及停止發放新石油與天然氣的探勘許可。

資料來源：
EurActiv. (2018, November 15). “Spain to nix nuclear and coal power by 2030.”



位於西班牙瓦倫西亞的核電廠

俄羅斯
首座浮動式核電廠啓用

譯 **編輯室**

俄羅斯國家原子能公司（Rosatom）表示，首座俄羅斯建造的浮動式核電廠「羅蒙諾索夫院士號」於右舷的 1 號機組已於最近首次達到臨界，並於莫斯科下午時間約 6 點達到最低控制功率水平，預計在幾天後就會替該部機組進行綜合測試。而 2 號機將在該座浮動式核電廠 2019 年被拖曳至俄羅斯東北部的佩維克（Pevek）前啟動並進行測試，所有於該座浮動式核電廠的最終技術操作計畫預計都將在今（2018）年底前完成。

羅蒙諾索夫院士號最初是在俄羅斯西部的北德文斯克造船廠（Sevmash）建造，但由於該造船廠的軍事業務量過大，導致羅蒙諾索夫院士號的建設工程被轉移至具有建造核子動力破冰船經驗、位於聖彼得堡的波羅的海造船廠。羅蒙諾索夫院士號的長、寬分別有 144 與 30 公尺，完工的船體在 2010 年 6 月下水，並於 2013 年 10 月安裝了兩部 3.5 萬瓩的 KLT-40S 反應爐。

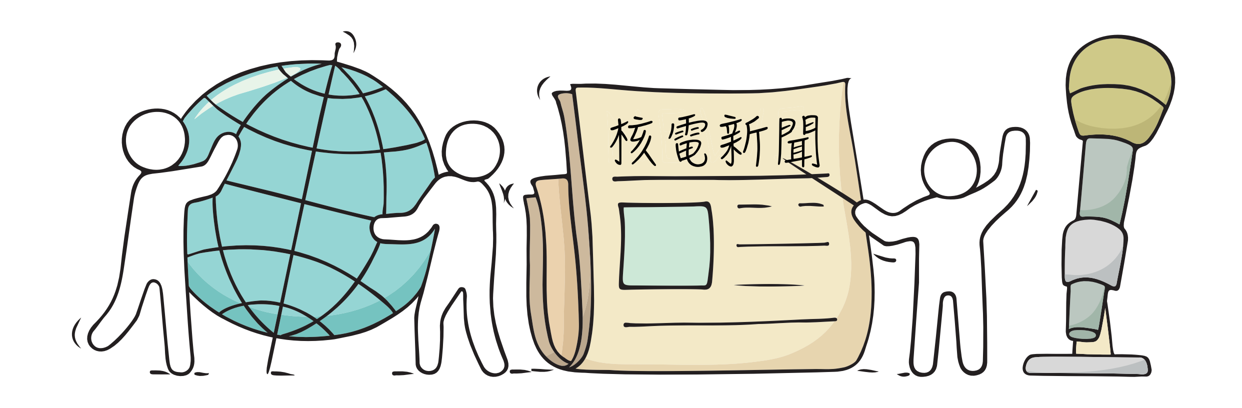
羅蒙諾索夫院士號在繞過波羅的海、北海、挪威海、巴倫支海，經過超過 4,000 公里的拖曳後已於今年 5 月中抵達摩爾曼斯克（Musmansk），並於 10 月初完成核燃料裝載，預計將在明年夏季時抵達楚科奇地區（Chukotka）。位於俄羅斯最北端的楚科奇正在進行沿岸的基礎設施建設工程。

俄羅斯國家原子能公司表示，羅蒙諾索夫院士號將是全球唯一一座浮動式核電廠以及最北端的核子裝置。羅蒙諾索夫院士號將取代即將除役的比利比諾（Bilibino）核電廠以及 Chaunskaya 熱能（Thermal）發電廠。比利比諾 1 號機計畫於明年關閉，整座電廠關閉的時間預計會落在 2021 年。

資料來源：
World Nuclear News. (2018, November 05). "First reactor on Russia's floating plants starts up."



俄羅斯建造的浮動式核電廠 – 羅蒙諾索夫院士號(圖片來源：Rosenergatom)



國外新聞

英國核電廠新建計畫因東芝的退出而取消

根據英國《衛報》最近的報導，由於日本東芝集團未能找到合作投資的廠商，在英國坎布里亞郡（Cumbria）新建 Moorside 核電廠的計畫已取消。東芝在這之前就已宣布，由於東芝在美國的核電分公司西屋電氣（Westinghouse Electric）宣布破產，加上未能替該核電廠建廠計畫找到接續的買家，必須關閉在英國的核電子公司 NuGeneration，東芝也將損失近 190 億日圓（約 50 億新台幣）。

英國期望通過新建核電廠來取代老舊的燃煤電廠與核電廠，該核電廠建設的取消，對英國政府意圖拓展核電發展的雄心，將造成不小的打擊，並將可能在英國的能源政策留下了巨大的漏洞。該座核電廠預計可替英國提供約 7% 的電力。

韓國電力公司（Kepco）原有意圖接手 NuGeneration，但在公司內部領導層的變動，加上英國政府於 6 月宣布，將考慮重新制定新興核電廠的補助規範後而退縮。英國至目前為止唯一獲准興建的核電廠是法國電力公司（EDF Energy）與中國廣核集團共同建設的辛克利角 C 核電廠，建設工程自 2016 年開始，預計將於 2025 至 2027 年間投入運轉。現在，Moorside 核電廠建設計畫的未來，將視英國政府及核能除役署（NDA）如何決定。

The Guardian, 11/08/2018

日本東海第二核電廠獲管制機構批准延役

日本監管機構原子力規制委員會（NRA）已於今（2018）年 11 月 7 日批准位於茨城縣的東海第二核電廠延長運轉年限，該座單一機組的核電廠至今已運轉 40 年，原運轉執照將於 11 月底到期，這座 106 萬瓩的機組也是日本首部獲准延役 20 年的沸水式反應爐（BWR）。營運廠商日本原子力發電公司（JAPC）也將繼續完成需要的安全設備改良，包括建造 1.7 公里長的沿岸防波堤，以防止潛在高度達 17.1 公尺的海嘯。加強安全設備的成本估計高達 1,800 億日圓（約 500 億新台幣）。

東海第二核電廠預計將在 2020 年後才重啟，日本原子力發電公司還需要獲得茨城縣政府，與包含東海村在內的 6 個地方自治市的同意才可重啟。不過，當地已有不少反彈的聲浪，在今年稍早時，就有 2 個地方自治

市表示反對。日本政府在福島事故後規定，設有核電廠的市政當局必須制定疏散計畫，來因應核子緊急事故，然而在該電廠周圍內的 14 個城市中僅有 3 個有做到，原因是難以替如此多的居民安排疏散的交通工具。

該座核電廠是繼福島事故後第 15 座獲日本原子力規制委員會允許重啓的機組，也是第 3 座獲准重啓的沸水式反應爐，另外兩座為東京電力公司於新潟縣的柏崎刈羽 6、7 號機。在這 15 部獲准重起的機組中有 9 部已開始運轉，但這 9 部全部都是壓水式反應爐，沸水式反應爐仍因福島受損的機組同為沸水式而飽受污名。

Nuclear Engineering International, 11/08/2018

中國中核集團實現放射性廢棄物處理國產化

中核集團的「核電廠放射性廢棄物桶外水泥固化成套裝置及研製」在最近成功通過中國國防科技成果的鑑定，擁有 100% 自主智慧財產權，並實現水泥固化設施與固化配方的國產化。這項技術的國產化可進一步降低廢棄物處理系統整套產品的供應價格，打破國外壟斷的局面。

另外，中國原子能科學研究院也於最近順利完成冷坩堝玻璃固化實驗平台 72 小時的連續運轉試驗，掌握了高放廢液處理冷坩堝玻璃固化的技術，建立了中國第一套原理實驗設備。冷坩堝玻璃固化技術為國際上主要用於高放射性廢液處理的新型玻璃固化技術，現已逐漸開始用於中、低放廢液的固化處理。該技術具有熔製溫度高、熔爐壽命長、適應範圍較廣、可處理的廢棄物種類多、除役成本低等優點。中國預計於 2025 年實現自主設計、建造與運轉該種玻璃固化設施的能力。

中國國家原子能機構．11/09/2018 & 11/20/2018

美國限制民用核能技術出口至中國

美國總統川普最近簽署了一項行政命令，將限制美國向中國出口民用核能技術，理由是這些技術可能會被轉用於軍事，以及其他未獲得授權的目的。美國能源部部長佩里（Rick Perry）在公開聲明中說到：「美國無法忽視中國致力於在中美民用核能合作領域之外，獲得其他的核子相關技術，因而為國家安全帶來影響。」

為因應中國試圖從美國的公司獲取先進的核能相關技術、原料與設備，美國國家安全委員會（National Security Council）在審核美國對中國的核能相關政策後，做出如此決定，新的政策將立即生效。一位政府官員告訴記者，美國政府的結論是，美國有必要在國家安全與經濟利益的長期風險，以及對美國核工業基礎影響之間，取得適當的平衡。

美國政府官員認為，中國目前正積極推動進步型核能技術，並將技術轉用於軍事用途，如新一代（第三代）動力潛艇，開發核子動力航空母艦與戰略性兩用的核子動力平台，如小模組的反應爐，以及可部署在中國南海的浮動式核電廠等。受該政策影響最大的中廣核集團（CGN）對此則表示，該集團計畫在英國 Bradwell 核電廠建造的華龍 1 號，並不受此政策影響，未來也將繼續與合作夥伴一同推動英國的核電建設。

Nuclear Engineering International, 10/16/2018

瑞士開始高放射性廢棄物處置場候選場址的鑽探準備作業

瑞士將在 2019 年開始放射性廢棄物處置場地質候選區域的第三階段調查作業，負責場址調查工作的瑞士國家放射性廢棄物處置公司（Nagra）在 2016-2017 年間提出的多項鑽探申請已陸續獲得瑞士聯邦環境、交通

能源與通訊部（DETEC）的批准，Nagra最近也在瑞士北部、距離蘇黎世僅20公里距離的彼拉赫（Bülach），開始深層地質鑽探工程的準備工作。首先會把土壤移除，再整理場地與設置儲存窖等，鑽井平台已於最近開始搭建，預計將於2019年初開始實際的鑽探工程。

除了比拉赫之外，還有位在瑞士更北邊的特呂利孔（Trüllikon）等，都屬於Nagra鑽探計畫中第一批將進行鑽探調查的地點，Nagra還會陸續在其他潛在的場址地點進行類似的鑽探調查。根據現有（非鑽探）的調查結果顯示，第一批將進行鑽探調查的3個地區都具有足夠的空間來建設深層地質處置場，而鑽探調查的目的主要是為現有的調查作補充，完成整體地下地質環境的寫照圖。因此，測量結果所提供的科學數據，將可幫助瑞士選擇最安全的處置場場址，預計Nagra可以在4年內公布最終場址，並申請建設執照。

Nagra, 09/29/2018 & 10/09/2018

日本用過核燃料再處理廠啓用時間再度延後

日本原燃株式會社（JNFL）在青森縣、目前仍在建造中的用過核燃料再處理場，最近再次發現場內燃料貯存池的管線有滲漏的現象，在調查後發現管線一共有20處受到腐蝕，其中一處有破損。這些管線位在室外，主要用來做檢查之用。日本原燃認為腐蝕是因雨水從管線外圍絕緣材料的縫隙間滲入，並表示這次的腐蝕沒有對燃料池的運轉造成任何影響。

日本原燃在2014年時向原子力規制委員會提出該座再處理場安全審查的申請，視其是否符合2011年福島事故後重新訂定、層級更為嚴格的安全審查標準。但該座再處理場卻在2017年8月時被發現約有800公升的雨水滲入一座設有主要緊急電源的廠房內，原因是這些老舊設備已有14年的時間未定期檢查。由於日本原燃的疏忽，原子力規制委員會於10月時停止其安全審查的申請，在暫停8個月後於今（2018）年4月時恢復該座用過核燃料再處理場的審查。

該座再處理場啟用的時程已經歷長時間的延宕，最初計畫啟用的時間為1997年，至今已因各種技術性問題推遲了24次，日本原燃期望能在2021年上半年完工。該座再處理場每年最多可處理800噸的用過核燃料，提煉約8噸的鈽，以製造混合氧化物（MOX）燃料。

Nuclear Engineering International, 09/04/2018

比利時將接收盧森堡的低放射性廢棄物

根據《比利時時報》的報導，盧森堡將利用比利時在放射性廢棄物貯存方面的專業知識。兩國在2016年7月時曾簽署一項協議，由盧森堡所生產的放射性廢棄物將運送至比利時暫時貯存，直到要進行最終處置前為止，這些放射性廢棄物的最終處置也會在比利時。目前比利時政府也已批准該份協議。

大多數盧森堡所生產的放射性廢棄物都屬於低放射性廢棄物，但半衰期較長。不過，《比利時時報》也強調，比利時尚未決定未來會以哪種方式長期的貯存該種放射性廢棄物。

The Brussels Times, 09/04/2018

國內新聞

近 590 萬票同意
通過廢除 2025 非核家園條例

11 月 24 日舉行的公投第 16 案：您是否同意廢除電業法第 95 條第 1 項，即廢除「核能發電設備應於民國 114 年以前，全部停止運轉」之條文？投票結果獲得 5,895,560 張有效同意票，亦即有將近 590 萬民眾贊成「以核養綠」。按中選會規定，有效同意票數多於不同意票，且有效同意票達投票權人總額 1/4 以上者，即為通過，本案以 29.84%的同意比例超過了 25%的門檻獲得通過。

第 16 案「以核養綠」是屬於法律的「複決」案，在公投票開完之後，若結果為通過，依據《公投法》第 30 條第 1 項，此案所主張於公告後第 3 日立即生效，即《電業法》第 95 條第 1 項於 11 月 30 日起失去法律效力。

本刊訊，2018/11/26

輻射監測又添生力軍！
萬里磺潭環境輻射監測設施啓用

新北市萬里區磺潭標準型環境輻射監測設施正式上線！原能會自 107 年 10 月 25 日起，在網站上除了原有的 50 個測站外，新加入磺潭監測站，每隔 5 分鐘更新即時監測數據，民眾動動手指上原能會官網 (www.aec.gov.tw) 或全民原能會 App 就可以看到全國 51 個環境輻射監測站的即時資訊。

標準型環境輻射監測設施包括環境輻射監測站、乾濕沉降收集裝置、及抽氣裝置等設備，可隨時監控輻射劑量率、落塵及空浮微粒的輻射狀況，全天候 24 小時連續監測全國環境輻射變化的情形並即時公開，擴大了我國固定式環境輻射監測範圍，讓民眾更能掌握生活周遭輻射的狀況。

本刊訊，2018/10/27

第16案 公民投票結果－全國

第16案：您是否同意：廢除電業法第95條第1項，即廢除「核能發電設備應於中華民國一百十四年以前，全部停止運轉」之條文？

同意票數	不同意票數
5,895,560	4,014,215

有效票數	無效票數	投票數
9,909,775	922,960	10,832,735

投票權人數	投票率%
19,757,067	54.83%

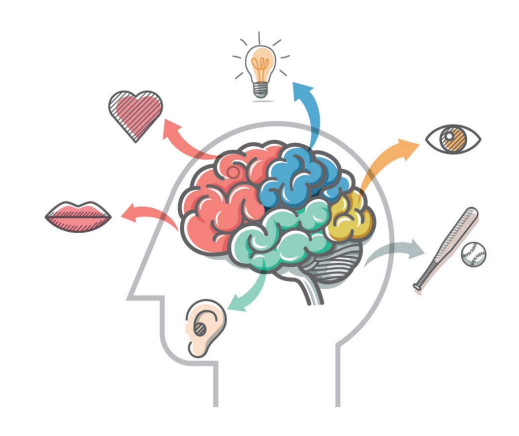
有效同意票對投票權人數百分比
29.84%

投票結果：通過





磺潭標準型環境輻射監測設施



什麼是放射性與輻射？（十一）

譯 朱鐵吉

Q 長半化期的原子核有哪些？

A 有的原子核具有很長的半化期（即放射物質的放射度由於衰變而減為原放射度一半時所需要的時間），期間會一直釋放出輻射。鈾 238 的半化期是 45 億年，而地球的年齡約 46 億年，所以地球生成時存在的鈾 238 至目前為止約剩下一半。



宇宙誕生時共同存在的放射性物質、地球生成時擷取到的放射性物質



系列 從放射性原子核至安定原子核，核種依次蛻變

- 鈾238　半化期：45億年
- 釷232
- 鈾235

非系列 放射性原子核直接蛻變為安定原子核

- 鉀40　半化期：13億年
- 銣87等

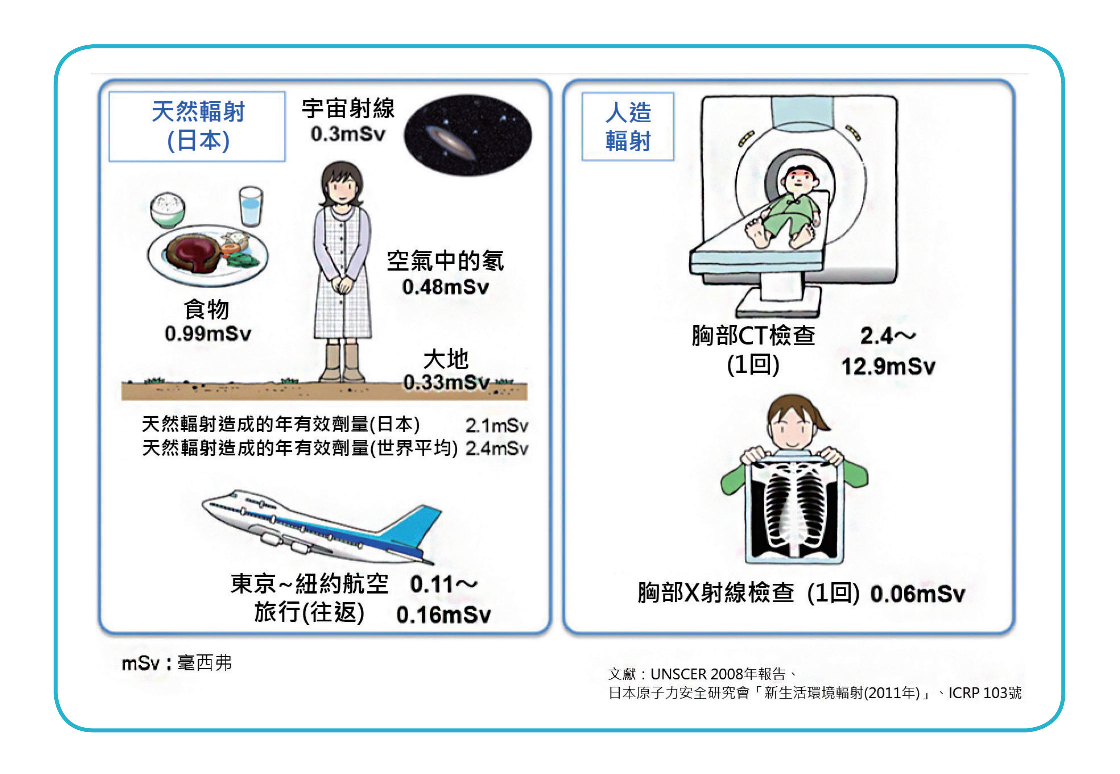
放射性物質釋放出輻射，一般會變成穩定的物質。但是有的放射性物質衰變後還是放射性物質，也會釋放出輻射，如此經過好幾次的衰變，才能成為安定物質。例如，鈾 238 釋放出阿伐（α）射線變成釷 232，釷 232 釋放出貝他（β）射線變成鏷 234，再經 10 次以上釋放出阿伐（α）射線的衰變，產生穩定的鉛 206 元素。

鉀 40 的半化期是 13 億年，是地球形成時天然存在之放射性物質。鉀 40 在釋放出貝他（β）射線後，則會衰變成鈣 40。

Q 天然與人造輻射曝露的劑量有何不同？

A 日常生活中，我們常常受到生活環境中的輻射照射。從宇宙及大地釋放出的天然輻射會造成我們體外曝露，食物與空氣中的氡或攝取天然放射性物質，也會造成體內曝露，每人每年平均會接受 2.4 毫西弗的有效劑量。

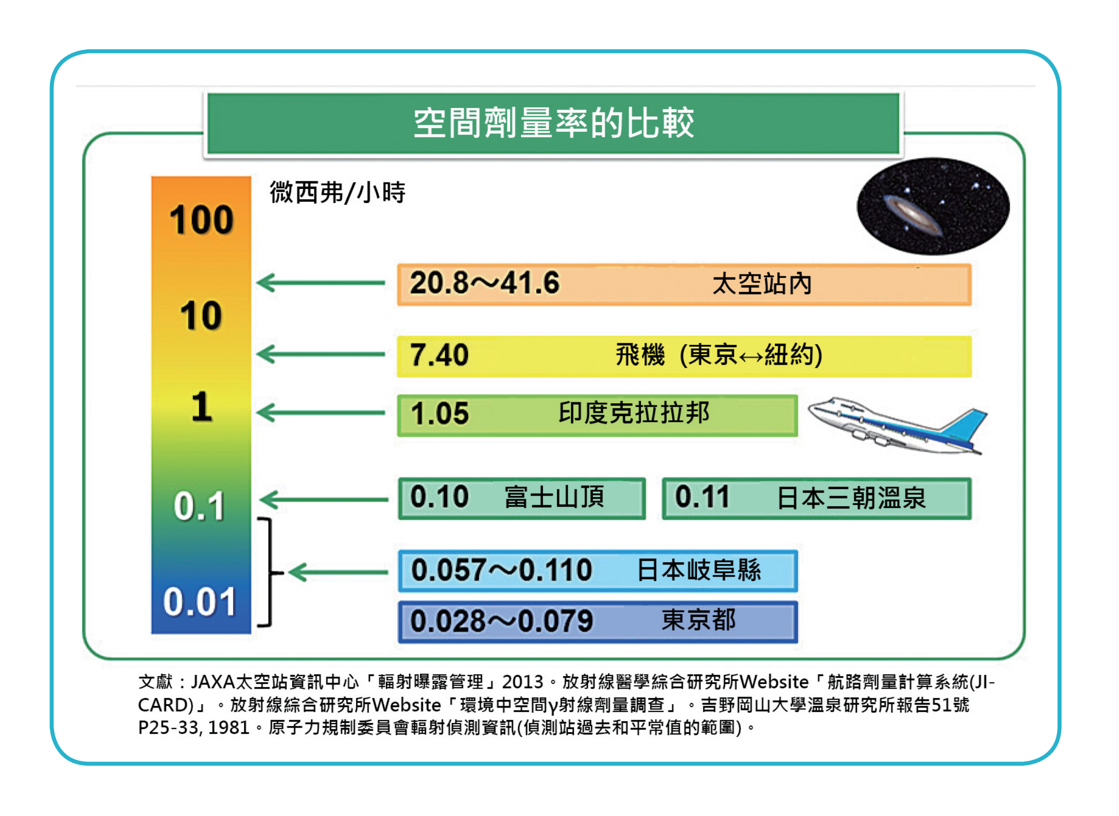
我們在接受輻射檢查時的醫療曝露，其中以接受電腦斷層檢查的醫療曝露為最高，其他還有胃癌檢診以及上消化管也會受到部分的醫療曝露。



若以時間為單位，輻射曝露的劑量有什麼差異？

A 身處於飛行中的飛機內，會接受到銀河及太陽宇宙射線的高空間劑量率的照射，在高山山頂的宇宙射線也比平地高出很多，宇宙射線與大氣中的氮或氧等，以及其他原子相互作用後會失去能量，到達地表時，宇宙射線的空間劑量率就降低很多。

人類生活在陸地上接受到的空間劑量率，每小時有效劑量約 0.01-1 微西弗。土壤中的鐳和釷會釋放出輻射，鐳和釷含量高的土壤會釋放出比較高水平的輻射，這些地區被稱為「高水平天然輻射地區」。含有氡氣的溫泉，或是土壤含有較多鐳的地區，都會導致地表輻射水平較高。



文獻：JAXA太空站資訊中心「輻射曝露管理」2013。放射線醫學綜合研究所Website「航路劑量計算系統(JI-CARD)」。放射線綜合研究所Website「環境中空間γ射線劑量調查」。吉野岡山大學溫泉研究所報告51號P25-33, 1981。原子力規制委員會輻射偵測資訊(偵測站過去和平常值的範圍)。

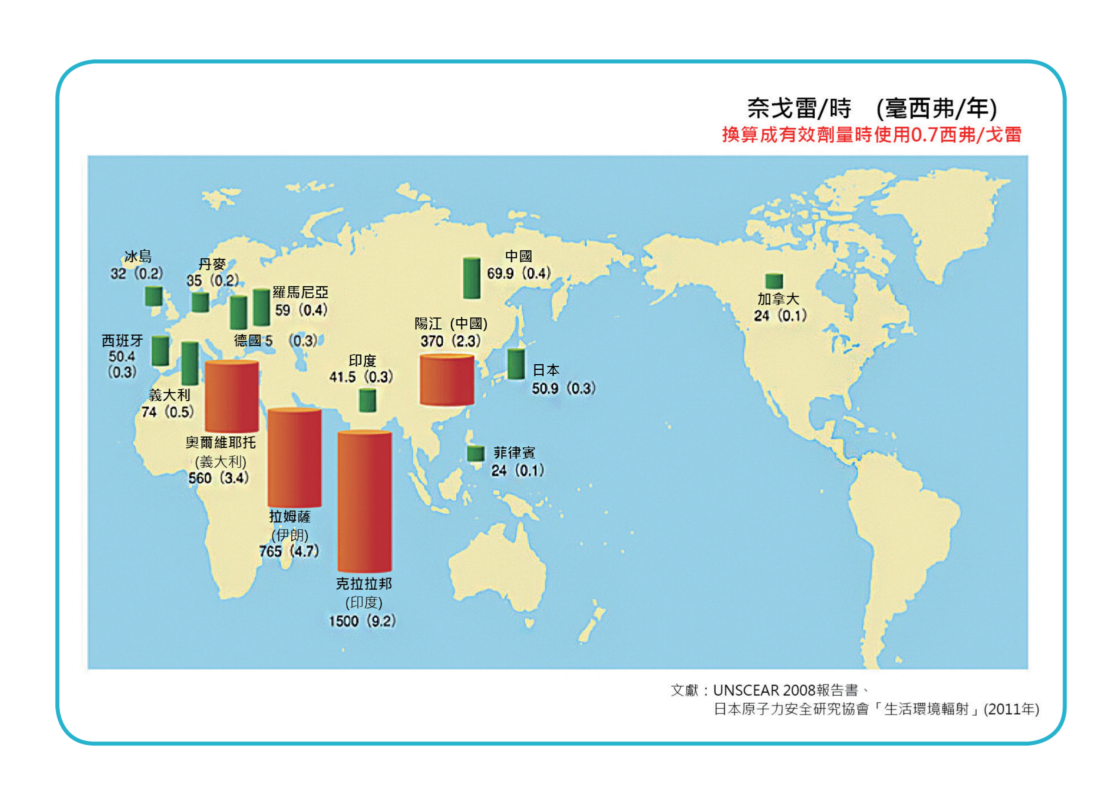




Q 全世界地表輻射分布的情形如何？

A 中國的陽江縣、印度的克拉拉邦（Kerala）、伊朗的拉姆薩等地區擁有比較高水平的地表輻射，原因是這些地區的土壤中含有高濃度的鐳、釷及鈾等放射性物質。這些高天然輻射的地區中比較有名的就是巴西的瓜拉帕里市了。有報告顯示，巴西瓜拉帕里市在進行都市化的瀝青道路舖設後，空間劑量率因此降低。

至目前為止，中國與印度等地區的流行病學調查結果都顯示，這些地區的致癌率與死亡率並沒有顯著增加的情形；伊朗拉姆薩的癌症風險分析則正在進行中。



本單元資料來源：日本環境省《輻射對健康影響的基礎知識，第一章：輻射基礎知識、第二章：輻射曝露》，2016 年。

何博士的日常豆知識

Q：大家一起節約能源，
是不是就可以不要核電？



台灣**核能發電約佔18%**，
相當於全台住宅用電，
立即廢核幾乎不可能！



簡單啊，
那我就減少打怪時數嘛！



事實

電力配置要考量**尖峰需求**
(通常是夏季平日下午)，
而尖峰時段是不容易大幅節電的！

是這樣嗎？
簡單啊，
那我就趁機調體質啊！



應該是這樣的！



事實

依過去30年經驗，
電力需求與**經濟成長**及**生活品質成正比**。
如果經濟持續溫和成長，
即使努力節能，用電仍會微幅成長。

節約能源，並發展替代能源，逐步減少核能發電。這就是「穩健減核」的真義。

何博士的日常豆知識

Q：如果人一生中所用的電，
只靠核能或燃煤發電，
兩者污染差異是多少？

核能發電
產出的**高階核廢料**為**1.8kg**
比一個兩公升裝寶特瓶飲料還輕！
註1：換算體積為94 cm^3，約為一個養樂多罐的大小。



燃煤發電產出的**CO2排放量**
為**61萬kg**



約**76.25**頭
大象的重量！

註2：換算體積為310,490 m^3，約可裝滿164個標準泳池！

可受控制的核廢料 與 不受控制的全球暖化極端氣候，您選哪一個？